2.c.12

KUNGL. SVENSKA VETENSKAPSAKADEMIENS HANDLINGAR. Band 49. N:o 8.

12.

ZUR MECHANIK DER KOPFBEWEGUNGEN BEIM MENSCHEN

VON

J. VILH. HULTKRANTZ

UPPSALA

MIT 2 TAFELN UND 8 FIGUREN IM TEXTE

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND
LIBRARY

UPPSALA & STOCKHOLM. ALMQVIST & WIKSELLS BOKTRYCKERI-A.-B.

BERLIN
R. FRIEDLÄNDER & SOHN
11 CARLSTRASSE

LONDON
WILLIAM WESLEY & SON
28 ESSEX STREET. STRAND

PARIS
LIBRAIRIE C. KLINCKSIECK
11 RUE DE LILLE

KUNGL. SVENSKA VETENSKAPSAKADEMIENS HANDLINGAR. Band 49. N:o 8.

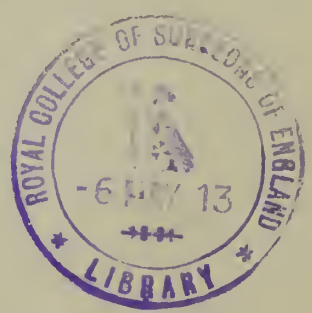
ZUR MECHANIK DER KOPFBEWEGUNGEN BEIM MENSCHEN

VON

J. VILH. HULTKRANTZ

UPPSALA

MIT 2 TAFELN UND 8 FIGUREN IM TEXTE



UPPSALA & STOCKHOLM
ALMQVIST & WIKSELLS BOKTRYCKERI-A.-B.
1912

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND
LIBRARY

Die alte, durch ihre Einfachheit so bequeme Lehre, dass das obere Kopfgelenk ausschliesslich den Nickbewegungen, das untere dagegen nur den Drehungen diene, während die Biegung nach den Seiten in den übrigen Gelenken der Halswirbelsäule verlegt sei, wurde in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts von Henke[4, 5], Gerlach[2] u. a. solchermassen modifiziert und vervollständigt, dass man dem Atlantooccipitalgelenk auch eine gewisse Beweglichkeit in seitlicher Richtung zuerkannte und die Bewegung in dem Atlantoaxialgelenk als eine Art von Schraubendrehung auffasste. Henke gebührt auch hauptsächlich das Verdienst gezeigt zu haben, wie die Bewegungen in den beiden Kopfgelenken wegen des zum Teil gemeinsamen Bandapparates von einander gewissermassen abhängig sind. Wenn wir von einzelnen Autoren absehen, welche die Seitenbewegungen in dem oberen Kopfgelenke in Abrede stellen (z. B. Tillaux[14]) oder demselben Gelenke auch eine geringe rotatorische Beweglichkeit zuerkennen (z. B. Henle[7], Hyrtl[8] und Krause[9]), so scheinen sich die Anatomen der Henke'schen Auffassung ziemlich einig angeschlossen zu haben. Mit dieser stimmt auch die Darstellung des Mechanismus der Kopfgelenke in dem grossen, verdienstvollen Handbuche von R. Fick[1] in allem Wesentlichen überein. Aus der Litteratur späterer Zeiten dürfte kaum etwas anderes neues über die Bewegungen dieser Gelenke zu holen sein als der von H. Virchow[15] 1909 erbrachte Nachweis, dass an Leichen auch sagittalflexorische Bewegungen im unteren Kopfgelenke möglich sind. Fick spricht sich auch dafür aus, dass solche Bewegungen nicht absolut ausgeschlossen sind, und fasst dieselben als kleine »Schaukelbewegungen» auf. Eine gewisse Möglichkeit frontaler Seitenneigungen in demselben Gelenke scheint er auch einräumen zu wollen, verliert aber kein Wort auf die weitere Besprechung dieser letzteren Möglichkeit.

Schon seit Jahren war es mir klar geworden, dass die beiden letztgenannten Bewegungsarten im Atlantoaxialgelenk vorkommen und zwar nicht als nur zufällige, unregelmässige Wackelbewegungen an dem präparierten Gelenke, sondern als ganz typische, obgleich in ihrer Grösse individuell stark wechselnde Bewegungen beim Lebenden. Wie ich unten näher dartun werde, sind besonders die Seitenneigungen in diesem Gelenke von grossem Interesse, — nicht so sehr wegen ihres Umfanges — denn dieser bleibt gewöhnlich auf ganz wenige Grade beschränkt — als vielmehr wegen

ihrer eigentümlichen Verkuppelung mit den entsprechenden Bewegungen im oberen Kopfgelenk, was eine anscheinend sehr zweckmässige mechanische Anordnung darstellt, wie ich sie sonst in keinem anderen Gelenke gefunden habe.

Ziemlich umfassende vergleichend-anatomische Untersuchungen über die Kopfgelenke und ihre Bewegungen, deren Resultate an anderem Orte veröffentlicht werden sollen, haben mich darüber belehrt, dass bei Säugetieren verschiedener Ordnungen eine ganz umfangreiche Beweglichkeit des Atlantoaxialgelenks sowohl in sagittaler als in seitlicher Richtung sehr häufig zu finden ist. Es scheint mir dies darauf hinzudeuten, dass die fraglichen Bewegungen beim Menschen nicht als unwesentliche Nebenerscheinungen abgefertigt werden dürfen, sondern dass sie als ursprüngliche, obwohl gewissermassen »rudimentäre» Funktionen unsere volle Beachtung verdienen. Die ausführliche Begründung dieser Ansicht werde ich in einer künftigen Arbeit geben.

Anlässlich meiner vergleichenden Studien habe ich auch die Verhältnisse beim Menschen einer näheren Prüfung unterworfen, deren Resultate schon an sich hinreichendes Interesse darbieten dürften, um eine besondere Besprechung zu rechtfertigen. Meine diesbezüglichen Untersuchungen, über welche hier berichtet werden soll, waren in erster Linie auf die Nickbewegungen und die Seitenneigungen im unteren Kopfgelenke gerichtet; es zeigte sich aber bald, dass ich auch einigen Fragen betreffend das Atlantooccipitalgelenk näher treten müsste, da der intime Zusammenhang der beiden Gelenke sowohl in topographischer als noch mehr in funktioneller Hinsicht zu einer einheitlichen Behandlung derselben nötigt.

Zu einem richtigen Verständnis der Bewegungen in einem Gelenke ist vor allem eine genaue Kenntnis der Krümmungsverhältnisse der Gelenkflächen notwendig. Da ich in der Litteratur keine genauere Angaben über die Kopfgelenke in dieser Hinsicht habe finden können, musste ich zu dem Zwecke eigene Untersuchungen ausführen und habe also an zehn präparierten Kopfgelenken mit intaktem Knorpel möglichst exakte Messungen der Krümmungshalbmesser in verschiedenen Richtungen ausgeführt. Dieselben werden im ersten Abschnitte dieser Arbeit näher besprochen und die Hauptresultate sind in der Tab. I zusammengestellt. Selbstverständlich ist das Material nicht hinreichend gross, um sichere Durchschnittszahlen zu gewinnen, noch weniger um den Spielraum der individuellen Wechselungen festzustellen, welche gerade in dieser Region auffallend stark sind.[1] Nach Vergleichung mit einer grösseren Anzahl anderer Präparate glaube ich aber sagen zu können, dass die Resultate meiner Messungen dem gewöhnlichen Verhalten ziemlich gut entsprechen dürften.

Was die fibrösen Verbindungen der Gelenkteile betrifft, welche ja ebenfalls für die Bewegungen in hohem Grade massgebend sind, so sind diese von verschiedenen Autoren und vor allem im Handbuche von Fick so ausführlich und vollständig behandelt worden, dass ich mich hier mit einem Hinweise auf diese Arbeit begnügen kann.

Den Hauptteil meiner Arbeit bilden meine Untersuchungen über die passive Beweglichkeit der Kopfgelenke an zehn Leichenpräparaten und Röntgenuntersuchungen

[1] Dass diese Neigung zu Variationen, welche meiner Erfahrung nach nicht nur die Knochen sondern auch die Weichteile betrifft, zu den Assimilationsvorgängen an der craniovertebralen Grenze in Beziehung steht, dürfte wohl nach den neueren Untersuchungen von Weigner[17] u. a. keinem Zweifel unterliegen.

über die aktiven Bewegungen an vier lebenden Individuen; die hauptsächlichen Resultate derselben sind in Tab. II und III mitgeteilt. Auch dieses Material ist ja viel zu klein, um allgemein gültige Masse für den durchschnittlichen Umfang der Beweglichkeit u. s. w. liefern oder sonst zu einer statistischen Bearbeitung verwertet werden zu können. Die angeführten Zahlen haben folglich nur einen relativen Wert. Betreffs der Existenz und der Art der in den Gelenken möglichen Bewegungen scheinen dagegen meine Versuche völlig beweisfähig zu sein. Wie wir sehen werden, stimmen nämlich die Resultate der verschiedenen Versuchsreihen nicht nur mit einander, sondern auch mit den theoretischen Konklusionen, welche man aus der Krümmung der Flächen und dem anatomischen Bau der Gelenke im übrigen ziehen kann, sehr gut überein.

Die Nickbewegungen und die Seitenneigungen in den Kopfgelenken werden in dieser Arbeit ziemlich ausführlich, die Drehungen dagegen kürzer behandelt werden. Die Ursache dafür, dass ich gerade den letzteren weniger Aufmerksamkeit geschenkt habe, liegt zum Teil darin, dass ich keine Möglichkeit sah, die Untersuchungen derselben an totem Material der nötigen Kontrolle durch Versuche an Lebenden zu unterwerfen, so dass also die Resultate meiner Untersuchungen in diesem Punkte immerhin nicht unanfechtbar werden konnten. Vor die Aufgabe gestellt, die Drehbewegungen der Kopfgelenke genau zu registrieren versagen nämlich sowohl die Radiographie wie die anderen üblichen Methoden für Untersuchung der Bewegungen an Lebenden.

Auch gewisse andere Fragen über die Funktionen der Kopfgelenke, welche in keiner direkten Beziehung zu meinem Hauptthema stehen, meine ich unten nur streifen oder ganz ausser Acht lassen zu können; der Zweck dieser Arbeit ist nicht, eine vollständige Monographie der Kopfgelenke und ihrer Physiologie zu geben, sondern nur einige Beiträge zur Klarlegung gewisser hiehergehöriger Fragen zu liefern und die Aufmerksamkeit auf ein paar, wie es scheint, bisher unbeachtete Tatsachen betreffend die Kopfbewegungen zu richten.

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND
6 MAY 13
LIBRARY

I. Die Krümmungsverhältnisse der Gelenkflächen in den Kopfgelenken.

Zur Messung der Krümmungshalbmesser der Gelenkflächen in verschiedenen Ebenen habe ich es am zweckmässigsten gefunden, die entsprechenden Profile der Flächen mit Kreisbogen bekannter Radien direkt zu vergleichen. Zu solchem Zwecke habe ich mir eine Reihe von aus dünnem Kupferblech (oder gefirnisstem Karton) ausgeschnittenen konkaven resp. konvexen Kreisbogen verschafft, deren Halbmesser um je 1 mm vom einen zum anderen zunehmen. Wenn man eine solche Schablone senkrecht gegen die Knorpeloberfläche hält, ist es leicht zu sehen, wie weit die Krümmung der Fläche mit der des Kreisbogens übereinstimmt, und so durch Probieren die Schablone mit dem richtigen Radius herauszufinden. Wenn es sich um eine Kurve mit kleinem Halbmesser (z. B. 10 mm) handelt, kann man diesen ganz leicht bis auf einen halben mm genau bestimmen; noch bei einem Radius von 40—50 mm dürfte der Ablesungsfehler nicht mehr als 1 mm betragen. Wenn es auf grosse Genauigkeit ankommt, ist die Methode natürlich etwas zeitraubend, bei weitem aber nicht in dem Grade, wie wenn man an Sägeschnitten durch das Gelenk oder durch Gipsabgüsse desselben entsprechende Messungen und Berechnungen ausführen wollte. Als einen grossen Vorteil betrachte ich es, dass man bei diesem Verfahren von kleineren Unregelmässigkeiten der Oberfläche ziemlich unabhängig ist. Bei der grossen Deformierbarkeit der Knorpelsubstanz dürften diese letzteren keinen merkbaren Einfluss auf die Bewegungen haben, weshalb man in solchen Untersuchungen wie dieser, wo es nicht auf strengste mathematische Genauigkeit ankommt, dieselben unberücksichtigt lassen kann. Auch bei beträchtlicheren Abweichungen, wie man sie z. B. im Sagittalprofil der Hinterhauptskondylen öfter antrifft, kann es wünschenswert erscheinen, den durchschnittlichen Wert der wechselnden Krümmungshalbmesser bestimmen und so auch die Lage der »Kompromissachse» feststellen zu können. In solchen Fällen ist es leicht, diejenige Schablone auszusuchen, die mit dem Profil der Fläche am besten übereinstimmt.

Das Atlantooccipitalgelenk.

Bei der erwähnten grossen Variabilität der in Frage stehenden Gelenkkörper kann es nicht Wunder nehmen, dass die Form der *Hinterhauptskondylen* von ver-

schiedenen Autoren in verschiedener Weise geschildert wird. Es ist tatsächlich unmöglich, eine Beschreibung zu geben, welche auf alle Fälle passt, und man muss zufrieden sein, wenn dieselbe nur mit der Mehrzahl der Fälle annähernd übereinstimmt. Die Ansicht von SAPPEY[12], dass die betreffenden Gelenkflächen Segmente einer Sphäre sind, entspricht jedenfalls nur sehr seltenen Ausnahmefällen, und die Wahl steht nur zwischen 1) der in den meisten unserer Lehrbücher gepredigten Lehre, dass die Kondylen Abschnitte eines quergestellten ellipsoidischen, »spindel»- oder »eiförmigen» Körpers sind, 2) der Meinung HENKE'S[5], welcher dieselben eher als Teilstücke eines »ringförmigen» Rotationskörpers mit in der Medianebene verlaufender Achse betrachtet haben will und 3) der von FICK[1] vertretenen Auffassung, dass es sich um einen »Idealeikörper» im Sinne von O. FISCHER handelt, d. h. dass die Form »ein Mittelding zwischen einem Spindel- und einem Ringwurstkörper ist».[1] Im ersten Falle wäre die um die transversale Achse vorsichgehende Bewegung, die Nickbewegung, als die für das Gelenk typische zu betrachten, während die Seitenneigung um die sagittale Achse nur mit Aufhebung der Kongruenz möglich wäre. In dem zweiten Falle wäre umgekehrt die Neigung zur Seite die typische Bewegung, und die Nickbewegung »nur durch eine Ungenauigkeit zugelassen» (HENKE). Wenn schliesslich die Gelenkflächen einem »Idealeikörper» gehörten, dann würden die Bewegungen in beiden Richtungen gleich günstig verlaufen und das kongruente Schleifen nur eine mässige Knorpeldeformierung voraussetzen.

Da die beiden Hinterhauptskondylen — ebenso wie die entsprechenden Gelenkhöhlen am Atlas — mit einander unbeweglich verbunden sind und bei den gewöhnlichen Bewegungen in der Frontal- oder Sagittalebene immer gleichzeitig fungieren, müssen sie gemeinsame Bewegungsachsen haben, deren Lage aus den Krümmungen beider Flächen berechnet werden kann.

Was zunächst die Krümmung der Kondylen in frontaler Richtung betrifft, so kann man bei symmetrischer Entwicklung des Gelenks erwarten, dass die beiden Profillinien einem und demselben Kreisbogen angehören. Wenn man eine Kreisbogenschablone passender Grösse quer über die mittlere, am meisten prominente Partie der beiden Kondylen hält, findet man auch in der Mehrzahl der Fälle eine ganz befriedigende Kongruenz; das leichte Klaffen kann schon durch einen sehr mässigen Druck beseitigt werden. Ganz anders ist es, wenn man die vordersten oder die hintersten Abschnitte der Kondylen untersucht. Setzt man die Schablonen senkrecht auf diese Teile der Gelenkflächen, so sieht man bei hinreichender Breite der letzteren deutlich, dass die gemeinsame Profilkurve hier bedeutend flacher erscheint, und auch keinen regelmässigen Kreisbogen bildet. Es stimmt dies alles ganz gut mit der Annahme überein, dass die Kondylen einem Ringkörper oder einem rollenförmigen Drehkörper mit nach aussen konvexer Erzeugungslinie und von vorn nach hinten verlaufender Achse entsprechen. Ein Schnitt durch eine derartige Rotationsfläche

[1] Vom oberen Kopfgelenke sagt FICK nur, dass es ein »Eigelenk» sei; im II. Teil seines Handbuches aber (S. 218) spricht er sich allgemein dafür aus, dass die in unserem Körper vorkommenden Eigelenke wahrscheinlich diesem »Idealeigelenk» entsprechen.

gibt selbstverständlich keinen Kreisbogen, wenn die Schnittebene nicht senkrecht gegen die Achse gerichtet ist.

In drei Fällen (II, III und VII in der Tabelle I) zeigte es sich immerhin unmöglich eine Schablone herauszufinden, die mit dem Gelenkprofile eine befriedigende Kongruenz zeigte. In der Tabelle sind die betreffenden Zahlen als nur approximativ richtig in Klammern gesetzt. Es stellte sich in diesen Fällen heraus, dass die Kondylen asymmetrisch entwickelt waren, indem der eine 1—2 mm höher als der andere war. Dass die Profilkurven beider Gelenkköpfe nichtsdestoweniger einen gemeinsamen Mittelpunkt haben können, und dass eine derartige Unregelmässigkeit also für die Beweglichkeit des Gelenkes ohne weiteren Belang sein kann, dürfte die untenstehende Fig. 1 besser als viele Worte dartun.

Wie aus der Tabelle hervorgeht, wechselte an den von mir untersuchten 10 Präparaten der frontale Krümmungshalbmesser der Hinterhauptskondylen, an ihrer

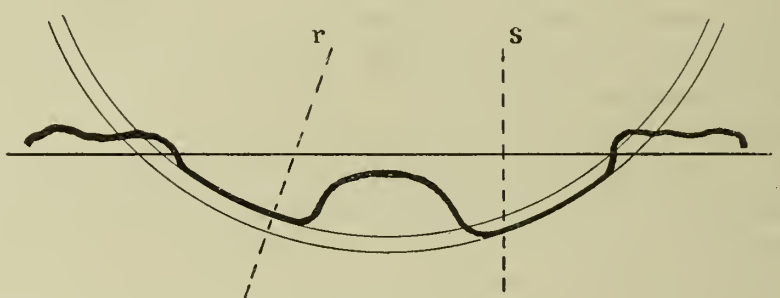


Fig. 1.

höchsten Konvexität (längs der eventuell vorhandenen Firste) gemessen, zwischen 32 und 50 mm. Durchschnittlich betrug derselbe 39,1 mm.

Über die Form der Erzeugungslinie des eben erwähnten Drehkörpers gibt die Untersuchung der sagittalen Krümmung der Kondylen Aufschluss. Will man ein exaktes Bild derselben haben, so muss natürlich der Schnitt durch die Kondylen senkrecht auf ihre Oberfläche, in radiärer Richtung gegen die Rotationsachse verlaufen (wie die Linie r in Fig. 1). Es zeigt sich dann, dass die Erzeugungslinie gewöhnlich keinen echten Kreisbogen bildet, sondern etwas unregelmässig und in ihrem mittleren Teile öfter geknickt ist. In diesem letzteren Falle muss an dem Rotationskörper eine mehr oder weniger deutliche Firste entstehen, welche seine Fläche in zwei Streifen teilt. Die Form einer solchen Fläche erhellt aus dem in Fig. 2 abgebildeten gedrechelten Modelle, an welchem ich diejenigen Abschnitte mit hellerer Farbe angegeben habe, welche den Gelenkflächen des Präparates entsprechen, das dem Modelle zu Grunde lag. Zur leichteren Orientierung über die Lage des betreffenden Rotationskörpers im Verhältnis zum Schädel habe ich in der nebenstehenden Fig. 3 eine

Schädelbasis von einem anderen Individuum mit ähnlicher Form der Kondylen dargestellt.

Bei der geringen Breite und der schrägen Richtung der Gelenkflächen ist es schwierig festzustellen, ob das Profil (die Erzeugungslinie) in den verschiedenen Radiärschnitten ganz unverändert bleibt; grössere Abweichungen konnte ich indes jedenfalls an meinen Präparaten ausschliessen.

Aus dem Gesagten geht schon hervor, dass ich mich der Auffassung HENKE's [5] anschliesse und es bestimmt vorziehe, die Gelenkflächen der Kondylen auf einen Drehkörper mit sagittaler Achse zurückzuführen. Ausser dem von HENKE hervorgehobenen Unterschiede betreffend die Kongruenz der Gelenkflächen bei den verschiedenen Bewegungen, worauf ich später zurückkomme, lässt sich zum Gunsten dieses Schemas anführen, dass dasselbe nicht nur für alle individuelle Varietäten in der Form der Gelenkflächen bei dem Menschen ziemlich gut passt, sondern auch die

Fig. 2.

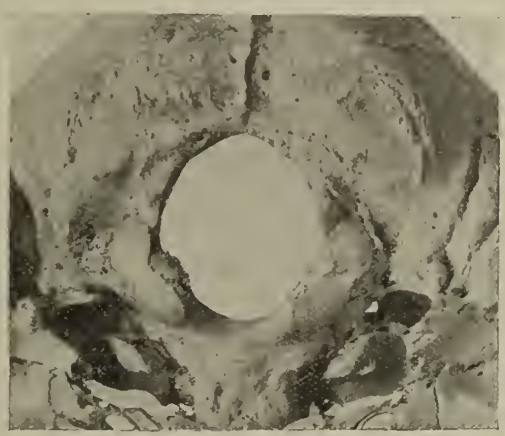


Fig. 3.

meisten oder sämtliche bei Säugetieren vorkommenden Typen umfasst. Dagegen ist dies entschieden nicht der Fall mit dem üblichen Schema, nach dem das Gelenk als ein Eigelenk mit quergestellter Hauptachse aufzufassen ist. Auch der »Idealeikörper» FISCHER's entspricht nicht gut dem tatsächlichen Verhalten. Die Natur hält sich in diesem Gelenke fern von dem »Ideal»; eine sichtbare Anpassung in solcher Richtung, dass eine etwa gleichgute Kongruenz bei Bewegungen um beide Achsen gewonnen wird, dürfte jedenfalls relativ selten vorkommen.

HENKE [5,6] und nach ihm viele andere Autoren lehren, dass die sagittale Achse des oberen Kopfgelenks, um welche die Seitenneigungen vorsichgehen, nicht horizontal, sondern von vorne oben nach hinten unten verläuft. Es ist von vornherein klar: wenn die Kondylen Abschnitte eines regelmässigen querliegenden Ellipsoids wären, so könnte die Form der Gelenkflächen keinen plausiblen Grund für die Annahme einer bestimmten Neigung der zweiten, in der Sagittalebene liegenden Achse abgeben; sie könnte ebenso gut horizontal wie schräg verlaufen. Nur die Feststellung, dass bei den natürlichen Bewegungen eine gewisse von den Hauptebenen des Körpers ab-

weichende Bewegungsebene entschieden bevorzugt wird, würde solchenfalls die Annahme eines schrägen Verlaufs der zweiten Achse gewissermassen rechtfertigen.

Meine oben gegebene Darstellung der Form der betreffenden Gelenkflächen setzt aber eine fixe Lage der in der Medianlinie verlaufenden Achse voraus. So leicht es ist, die Entfernung der Achse von dem Profil der Gelenkflächen (= den Krümmungshalbmesser) zu bestimmen, so schwierig ist es, die Richtung dieser Achse genau festzustellen. Nur in solchen, relativ seltenen Fällen, wo die Kondylen verhältnismässig breit sind und zugleich eine scharf ausgesprochene Querfirste zeigen, kann man die Ebene, in welcher diese Firste liegt und damit auch die Richtung der auf diese Ebene senkrecht stehenden Achse des Rotationskörpers annähernd bestimmen. An zwei solchen Präparaten (VI und VIII) konnte ich feststellen, dass die betreffende Achse mit der Horizontalebene einen Winkel von etwa 30° resp. 45° bildete; sie verlief durch die obere Hälfte des Clivus etwa 1—1,5 cm unterhalb des Dorsum sellae und traf die Hinterhauptschuppe 1—2 cm hinter dem Foramen magnum. Die Untersuchung einiger mazerierten Schädel, deren Kondylen eine deutliche Firste hatten, gab ziemlich übereinstimmende Resultate.

Wie oben schon hervorgehoben wurde, ist die Flächenkrümmung der Kondylen von vorn nach hinten viel unregelmässiger als in querer Richtung. Will man aus derselben die Lage der transversal verlaufenden Achse für die Flexions- und Extensionsbewegungen herleiten, so darf man selbstverständlich nicht Radiärschnitte verwenden, welche nur zur Bestimmung der Erzeugungslinie des Drehkörpers dienen können, sondern mit der Medianebene parallele Schnitte durch die Kondylen (wie die Linie s in Fig. 1).

Unter meinen 10 Präparaten bildete die sagittale Profillinie dreimal an beiden Seiten, einmal nur an der linken, einen annähernd regelmässigen Kreisbogen, dessen Halbmesser 10 bis 16 mm betrug. Sonst war das Profil mehr oder weniger scharf geknickt. Die Krümmungsradien des vorderen und des hintern Teils können etwa gleich gross sein oder verschiedene Länge haben; die Differenz scheint doch selten mehr als 2—3 mm zu betragen. Dass der vordere Abschnitt, wie STRECKER[13] behauptet, gewöhnlich weniger gekrümmt sei als der hintere, habe ich an meinem Material nicht bestätigen können. Dagegen stimme ich HENKE[5] darin vollständig bei, dass in typischen Fällen die Krümmungsachse der hinteren Halbfläche weiter nach vorne liegt als die der vorderen. Auf die Angaben dieses Autors über die Möglichkeit von Bewegungen genau um jede dieser Achsen komme ich unten zurück.

In den meisten Fragen betreffend die Sagittalbewegungen im Atlantooccipitalgelenke dürfte man indessen von dieser doppelten Krümmungsachse absehen und sich mit einer mittleren »Kompromissachse» (FICK [1]) begnügen können. Zur Bestimmung der Lage dieser Achse habe ich mich ebenfalls der Schablonen bedient, mit deren Hülfe ich den mittleren Krümmungsradius gemessen habe. An meinen Präparaten betrug derselbe 9 bis 16 mm, durchschnittlich 11,7 mm. Dies ist also die mittlere Entfernung der Drehungsachse für die Nickbewegungen oberhalb des tiefsten Punktes der Kondylen.

Betreffend die Krümmungsverhältnisse der *Atlaspfannen* kann ich mich relativ kurz fassen. Im grossen und ganzen können diese als negative Abdrücke der Kondylen betrachtet werden. Die frontalen Profilkurven durch die Mitte der beiden Atlasgelenkflächen bilden also gewöhnlich Abschnitte eines ziemlich regelmässigen Kreisbogens, dessen Radius in meinen Fällen 33—51 mm, durchschnittlich 39,9 mm, betrug. In den oben erwähnten Fällen, wo die Kondylen asymmetrisch entwickelt waren, entsprachen die Krümmungsprofile der Atlaspfannen auch nicht einem gemeinsamen Kreisbogen, sondern waren Teile zweier mit einander konzentrischen Kreise, was ja auch a priori erwartet werden konnte.

Das viel stärker gekrümmte Sagittalprofil hatte einen Halbmesser von 9—19 mm, durchschnittlich 12 mm. Ganz wie an den Kondylen fand sich auch hier öfter eine mehr oder weniger scharfe Knickung, wodurch die Gelenkflächen in zwei Fazetten geteilt wurden, welche mit einander einen nach oben offenen Winkel bildeten.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass auch die Atlaspfannen als Abschnitte eines (selbstverständlich hohlen) Rotationskörpers, mit in der Medianebene verlaufender Achse aufgefasst werden können. Die nach hinten schräg abfallende Richtung dieser Achse lässt sich auch hier an geeigneten Präparaten mit deutlicher Querfurche feststellen.

Wie die Zahlen in der Tab. I zeigen, stimmen die Krümmungshalbmesser der Atlaspfannen mit denen der Kondylen ganz gut überein. Die Differenzen, die nur ausnahmsweise 2—3 mm betragen, dürften wohl im Leben durch die Zusammendrückbarkeit des Knorpels vollständig ausgeglichen werden. Offenbar besteht jedoch diese gute Kongruenz nur in einer bestimmten mittleren Stellung des Gelenks. Sobald bei Streckung oder Beugung die Firsten an den Kondylen die Furchen in den Atlaspfannen verlassen, muss es zu einem Klaffen kommen, das unten näher besprochen wird.

Das Atlantoaxialgelenk.

Das untere Kopfgelenk wurde bekanntlich in älteren Zeiten als ein echtes Drehgelenk betrachtet und seine Gelenkflächen als Teile eines sehr flachen Kegels beschrieben (Meyer[11]). Nach Henke[4, 6] wird es dagegen jetzt allgemein als ein doppelgängiges Schraubengelenk aufgefasst. Es scheint mir Zweifeln zu unterliegen, welcher von diesen beiden Lehren der Vorzug gebührt. Beide sind sehr schematisch und entsprechen in vielen Einzelfällen nur schlecht der Wirklichkeit. Es muss dem Henke'schen Schema zum Verdienst gerechnet werden, dass es auf einen wichtigen Punkt in dem Mechanismus des Gelenks, nämlich das Auf- und Niedersteigen des Atlas längs der Achse bei den Seitendrehungen, gebührende Rücksicht nimmt und eine leichtverständliche Erklärung desselben gibt. Untersucht man aber etwas näher die Krümmung der betreffenden Gelenkflächen, so wird man bald gewahr, dass nur eine Minderzahl der Präparate die Forderungen des letztgenannten Schemas erfüllen. Vor allem gilt dies für die unteren Gelenkflächen des Atlas, welche entschieden viel öfter mit gewöhnlichen Rotationsflächen als mit Schraubenflächen übereinstimmen.

Ich fange meine Besprechung mit den seitlichen Gelenkflächen an der *Axis* an, welche als die hauptsächlich tragenden Flächen für die Bewegungen wohl in erster Linie ausschlaggebend sind; dabei will ich sogleich die Meinung aussprechen, dass man dem wahren Verhalten am nächsten kommt, wenn man bei der Beurteilung der Krümmung dieser Flächen von einem sphärischen Rotationskörper ausgeht. Es ist wahr, dass nur in vereinzelten Fällen die Übereinstimmung mit diesem Schema völlig befriedigend ist, aber die Abweichungen von demselben scheinen mir jedenfalls nicht grösser, sondern gewöhnlich viel kleiner zu sein, als wenn man die Krümmung auf eine konische oder eine Schraubenfläche zurückführen wollte. Weitere Gründe dafür, dass ich die sphärische Krümmung als die für diese Gelenkflächen typische oder ursprüngliche auffassen möchte, finde ich einerseits darin, dass ich eine solche bei den meisten von mir untersuchten Säugetieren, vor allem bei den Monotremen, noch viel mehr ausgesprochen gefunden habe, andererseits darin, dass eine solche Form der Gelenkflächen mit sämtlichen im unteren Kopfgelenk vorkommenden Bewegungen gut vereinbar ist. Um die sphärische Gestaltung der Axisflächen zu veranschaulichen gebe ich in Fig. 4 die Abbildung eines Modelles, das die Krümmung der Gelenkflächen in einem ausgewählten typischen Falle möglichst treu wiedergibt, und an dem ich die Lage und den Umfang der überknorpelten Flächen durch Bemalung angegeben habe.

Fig. 4.

Bei der Untersuchung der frontalen Krümmung der Axisflächen habe ich mich hauptsächlich zu den mittleren Teilen der Flächen, die in der Grundstellung des Gelenks mit den unteren Atlasflächen in Berührung stehen, gehalten; die Schablonen, deren ich mich hierbei bediente, waren mit Ausschnitten für den Zahnfortsatz versehen. Es zeigte sich dabei, dass in 8 Fällen von 10 die Profile beider Flächen ziemlich genau einem gemeinsamen Kreisbogen entsprachen. In den beiden übrigen Fällen (V und VIII) waren die Profillinien offenbar nicht kreisförmig, sondern im ersteren beinahe gerade, im zweiten unregelmässig schwach gekrümmt. Die Massangaben für die gemeinsame frontale Krümmung sind also in diesen beiden Fällen nur approximativ. Wie die Tabelle zeigt, wechselte der Halbmesser zwischen 30 und 43 mm (Durchschnitt 38,2 mm); der Mittelpunkt der Krümmung entsprach meistens etwa der Grenze zwischen dem dritten und dem vierten Halswirbel. Vergleicht man den Grad der frontalen Krümmung im oberen und unteren Gelenke, so findet man bald dieses bald jenes stärker gekrümmt; durchschnittlich ist die Differenz aber ganz gering.

Was dagegen die Krümmung der Axisflächen in der Richtung von vorne nach hinten anbelangt, so kann man dieselbe entweder in einer rein sagittalen oder in einer auf die Oberfläche senkrechten Ebene messen. Ich habe das letztere Verfahren gewählt, um direkt beurteilen zu können, inwiefern die Flächenkrümmung von der sphärischen Form abweicht. Da alle Schnitte durch eine Kugel, welche senkrecht auf ihre Oberfläche, d. h. durch ihren Mittelpunkt geführt sind, denselben Halbmesser haben, müsste ja die Krümmung der Gelenkflächen von vorn nach hinten und von einer Seite zur anderen gleichgross sein, wenn es sich wirklich um rein sphärische

Flächen handelte. Dies war in meinem Material nur einmal (VI) annähernd der Fall. Sonst war der Halbmesser der sagittalen Krümmung durchschnittlich nur etwas mehr als die Hälfte von dem Radius der frontalen Krümmung; jener betrug nämlich nur 21,3 mm mit Schwankungen zwischen 15 und 31 mm. Die Flächen dieses Gelenkes sind also meistens in sagittaler Richtung stärker gebogen als es der Kugelform entspricht. Man könnte das vielleicht am besten so ausdrücken, dass die hintern und die vordern Randpartien der Flächen unter das Niveau der Kugelfläche etwas niedergedrückt sind. Die Krümmung war indessen in der überwiegenden Mehrzahl meiner Fälle ziemlich regelmässig und es gehörte nur ein schwacher Druck dazu, um volle Kongruenz mit den Kreisbogenschablonen zu erreichen. Nur einmal war die Gelenkfläche durch eine deutliche Firste in zwei nach vorn und hinten abfallende Halbflächen geteilt; in diesem Falle wäre man vielleicht berechtigt gewesen, von Schraubenflächen im Sinne HENKE's zu sprechen, aber nur die Gelenkflächen an der Axis stimmten mit seinem Schema annähernd überein; die Atlasflächen waren in diesem Falle in sagittaler Richtung beinahe ganz plan.

Die starke Inkongruenz der *Atlasflächen* den Axisflächen gegenüber wird in allen Darstellungen des Atlantoaxialgelenkes stark betont. Es gilt dies aber nur von dem Sagittalprofil; wenn man sich an die Querprofile in der mittleren Partie der Gelenkflächen hält, wird man fast ganz denselben Krümmungshalbmesser an der oberen und der unteren Fläche finden. In meinen Fällen betrug die Differenz nur einmal 2 und dreimal 1 mm. Wenigstens die letztere Zahl liegt sicherlich innerhalb der Grenzen der Messungsfehler. Der durchschnittliche Krümmungshalbmesser der Atlasfläche war 38,7 mm, mit Schwankungen zwischen 30 und 43 mm.[1]

In sagittaler Richtung ist die Krümmung der Atlasflächen viel mehr wechselnd. Die Profillinie kann konkav oder konvex oder annähernd gerade sein und ist sogar bisweilen an der einen Seite konkav, an der andern konvex. Nur selten fand ich die Krümmung so stark, dass ich den Radius messen konnte; ich habe mich also meistens begnügen müssen, in der Tabelle durch ein + oder ein — anzugeben, ob eine Konvexität resp. Konkavität vorhanden war. Ein annähernd geradliniges Profil habe ich durch ∞ bezeichnet.

Unter den von mir genauer untersuchten 10 rechten und 10 linken unteren Atlasflächen waren 12 in sagittaler Richtung beinahe eben; 5 mal — immer an der linken Seite — war eine mehr oder weniger deutliche Konvexität, 3 mal — immer an der rechten Seite — eine schwache Konkavität vorhanden. Der Unterschied zwischen der rechten und der linken Seite ist auffallend und könnte vielleicht mit der von STRECKER[13] beobachteten häufigen Asymmetrie mit flacherem rechten Kon-

[1] Wenn man die Gelenkflächen an mazerierten Knochen oder die Bilder der Gelenkspalten an Radiographien untersucht, findet man dagegen öfter eine erhebliche Inkongruenz. Die gegen einander gewendeten Profile beider Knochen sind bisweilen beide stark konkav, was aber durch die grössere Dicke des Knorpels in der Mitte der Fläche völlig ausgeglichen wird. WERNER's [18] Angaben, nach denen der Knorpel in der Mitte der betreffenden Gelenkflächen 2—3 mal dicker ist als in ihren Randpartien, habe ich bestätigen können, doch nicht in allen Fällen; es kommen auch hier sehr starke individuelle Schwankungen vor.

dylus in Zusammenhang stehen. Es sind aber umfassendere Beobachtungen nötig, um auszuschliessen, dass es sich hier nur um ein Spiel des Zufalles handelt.

Bei ausgesprochener Konvexität von vorne nach hinten zeigt die Gelenkfläche im Ganzen eine Andeutung der Sattelform. Es kommt in solchen Fällen auch vor, dass diese Fläche wie die entsprechende an der Axis durch eine Querleiste in zwei Fazetten geteilt wird; eine befriedigende Übereinstimmung mit dem HENKE'schen Schema der doppelten Schraube scheint mir aber jedenfalls sehr selten zu sein.

Was endlich die Gelenkflächen an der Vorderseite des *Zahnfortsatzes* und am *Atlasbogen* betrifft, welche gewöhnlich als Teile einer konvexen resp. konkaven Zylinderfläche mit vertikaler Achse durch die Mitte des Zahnfortsatzes beschrieben werden, so möchte ich nur folgende Bemerkungen machen. An Horizontalschnitten durch das Gelenk ist es leicht zu sehen, dass die Krümmung der Atlasfläche in der Regel flacher ist und also einen grösseren Halbmesser hat als die Densfläche (resp. 4—6 und 3—4 mm); die Krümmungsachsen der Flächen liegen beide etwas hinter der Mitte des Zahnfortsatzes. — Mehrmals fand ich auch die fraglichen Gelenkflächen in vertikaler Richtung etwas gekrümmt und zwar am Zahnfortsatze konvex, am Atlasbogen konkav, was auch an dem Modelle (Fig. 4) zu sehen ist. Diese Details, welche die Krümmung der Flächen betreffen, sind nicht ohne Interesse, da sie, wie unten gezeigt werden soll, zu den Bewegungen in dem Gelenke in Beziehung gestellt werden können.

II. Die Bewegungen in den Kopfgelenken.

Aus der Form der Gelenkflächen, dem Grade ihrer Krümmung und der Lage ihrer Krümmungsachsen lässt sich schon vieles schliessen hinsichtlich der Art und Natur der in den betreffenden Gelenken möglichen Bewegungen. Wenn man überdies die gegenseitigen Grössenverhältnisse und die Gestaltung der Knochen in der Umgebung des Gelenkes berücksichtigt, so kann man auch gewisse Schlussfolgerungen auf den Bewegungsumfang machen, wenigstens soweit, dass man gewisse Grenzen, über welche die normalen, typischen Bewegungen nicht hinausgehen können, ziemlich sicher feststellen kann. Durch eine direkte Untersuchung der knöchernen und knorpeligen Gelenkteile, wie die oben referierte, kann man also gewisse Möglichkeiten für die Bewegungen kennen lernen; inwiefern aber diese wirklich ausgenützt werden, hängt grossenteils von den umgebenden Weichteilen ab, die ja in verschiedener Weise Widerstand leisten können. Die Einwirkung dieser Faktoren muss an Präparaten, wo die Kapseln, die Bänder und eventuell auch andere umgebende Weichteile erhalten sind, geprüft werden.

Ich habe also an derartigen Leichenpräparaten eine Reihe von Versuchen über die passive Beweglichkeit in den Kopfgelenken angestellt. (Vergl. Tab. II.) In den ersten vier Fällen waren nur die Haut mit dem Unterhautgewebe, die oberflächlichsten Muskeln (Sternocleidomastoideus und Trapezius), sowie der Unterkiefer und der Schlund entfernt; in den übrigen sechs Fällen waren sämtliche Muskeln wegpräpariert, die Gelenkkapseln und die Ligamente aber vollständig erhalten. Aus einem Vergleich zwischen den Zahlen in der Tabelle scheint hervorzugehen, dass die Erhaltung der Muskulatur bei diesen Versuchen auf den Bewegungsumfang sehr wenig Einfluss gehabt hat; nur die sagittalen Bewegungen sind durchschnittlich etwas geringer in der ersten Serie als in der zweiten; sonst sind die Resultate fast ganz identisch.

Die Versuche wurden kurz gesagt in der Weise ausgeführt, dass der zwischen 3. und 4. oder 4. und 5. Halswirbel exartikulierte Kopf mit dem Halse nach oben durch Schrauben ganz unbeweglich an der Tischplatte befestigt und in den Atlas und die Axis je zwei lange, starke Stahlnadeln in frontaler und sagittaler Richtung eingeschlagen wurden. Die Winkel, welche die letzteren mit einander und mit den Hauptebenen bildeten, wurden dann bei verschiedenen, mehrmals wiederholten Bewegungen durch Visieren gegen eine geeignete Gradscheibe bis auf $^1/_2{}^\circ$ genau abgelesen. Die Bewegungen der Halswirbelsäule gegen den Kopf habe ich direkt mit der Hand aus-

geführt, um dabei stets kontrollieren zu können, dass die Kraft möglichst genau in derselben Richtung angebracht wurde, wie die Zugwirkung derjenigen Muskeln, welche die betreffende Bewegung auszuführen haben, und dass die Gelenkflächen unter einem ziemlich starken, gleichmässigen Druck auf einander glitten. Ich lege hierauf besonders Gewicht, denn nur unter solchen Umständen kann man erwarten, dass die Bewegungen den natürlichen Verhältnissen beim Lebenden annähernd entsprechen. Bei aufrechter Stellung bewirkt ja schon die Schwere des Kopfes einen Druck von mehr als 4 kg in den Kopfgelenken und dazu kommt noch die Druckwirkung aller fixierenden und bewegenden Muskeln. Meines Erachtens hat ungenügende Würdigung dieses Umstandes bei Leichenversuchen über die Beweglichkeit der Gelenke schon öfter zu fehlerhaften Schlüssen geführt. Es ist nicht hinreichend, die Bewegungen »ohne Anwendung von grösserer Gewalt», wie es gewöhnlich heisst, auszuführen, sondern die natürliche Belastung des Gelenkes und die Grösse und Richtung der einwirkenden Muskelkräfte müssen ebenfalls so getreu wie möglich nachgeahmt werden. — Selbstverständlich hatte ich bei diesen Versuchen meine Aufmerksamkeit streng darauf gerichtet, dass die Bewegungen genau in drei auf einander senkrechten Ebenen verliefen. Bei den Seitenneigungen ging ich von einer Mittelstellung zwischen grösster Extension und Flexion aus; in dieser Stellung wurden auch die Rotationsbewegungen ausgeführt. In der Tabelle ist immer der Totalumfang der Bewegung in einer gewissen Ebene, also von voller Streckung bis zu voller Beugung u. s. w., angegeben.

Gegen Versuche an Leichen kann immer die Einwendung erhoben werden, dass die Elastizität sowie die Druck- und Zugfestigkeit der Gewebe durch Totenstarre, Verwesung, Eintrocknen und Einwirkung der Balsamierungsflüssigkeit in hohem Grade und in sehr verschiedener Weise verändert sind, und ich bin mir also wohl bewusst, dass die in der Tabelle angegebenen Versuchsresultate betreffs der absoluten Grösse der Exkursionen u. dgl. dem Verhalten im Leben sicherlich nicht entsprechen. In *einer* Hinsicht darf jedoch denselben ein gewisser Wert nicht abgesprochen werden, nämlich insofern, als es sich um die Relation der Exkursionsgrössen nach verschiedenen Richtungen in einem und demselben Gelenke oder um das gegenseitige Verhältnis der Bewegungen in zwei benachbarten Gelenken handelt. Aller Wahrscheinlichkeit nach treffen doch die angedeuteten Veränderungen ziemlich gleichförmig das ganze Gelenk oder die neben einander liegenden Gelenke. Finde ich also am Gelenkpräparat eine grössere Beweglichkeit in einer Richtung als in der andern, oder in dem einen Gelenke als in dem anderen, so dürfte auch in der Regel der Schluss berechtigt sein, dass dies auch im Leben der Fall gewesen ist, wohlgemerkt aber nur betreffs der *passiven* Beweglichkeit.

Bei den *aktiven* Bewegungen des lebenden Menschen kommen noch hinzu die stetig wechselnde Wirkung der Muskeln und das ungemein komplizierte Spiel der Innervation, das an totem Material nie nachgeahmt werden kann. Das letzte und entscheidende Wort muss also Versuchen an Lebenden überlassen werden. Eben bei den hier in Frage stehenden Gelenken begegnen solche Versuche leider besonders grossen Schwierigkeiten wegen der Unmöglichkeit die Nachbargelenke sicher zu fixieren und die Verschiebungen der einzelnen Knochen zu registrieren. Nur von dem Röntgen-

verfahren sind hier etwas zuverlässigere Resultate zu erwarten und ich habe deshalb mit freundlicher Hilfe des Vorstandes des Röntgenlaboratoriums an den Universitätskliniken in Uppsala Dr. G. SÖDERLUND einige Radiographien durch die Kopfgelenke von 4 männlichen Individuen in verschiedenen Stellungen aufgenommen. Trotz der nicht unbedeutenden technischen Schwierigkeiten, die mit der Durchleuchtung gerade dieser Körperregion verbunden sind, ist es uns gelungen, eine Anzahl Aufnahmen zu erhalten, an welchen die sagittal- und lateral-flexorischen Bewegungen in den Kopfgelenken ganz gut zum Vorschein kommen. Eine Versuchsanordnung, durch welche es möglich wäre, die Rotationsbewegungen hinreichend klar darzustellen, habe ich nicht ausfindig machen können.

Wenn es sich um die Untersuchung der Nickbewegungen handelte, wurden die Gelenke natürlich in transversaler Richtung durchleuchtet, und zwar je zweimal, einmal bei voller Beugung, einmal bei voller Streckung. Mit Ausnahme des ersten Versuches, wobei sich die Versuchsperson in sitzender Stellung befand, was sich aber wegen der Schwierigkeit einer genauen Einstellung und Fixierung des Kopfes als weniger günstig erwies, geschah die Aufnahme in seitlich liegender Stellung. Der Kopf ruhte direkt auf der Kassette, die auf einer festen, genau horizontalen Unterlage von passender Höhe lag. Um eine exakte und in beiden Aufnahmen absolut gleiche Einstellung des Kopfes zu ermöglichen, hatte ich vorher aus einem Brettchen ein »Gebiss» verfertigt, das mit einer dicken Schicht von einer von Zahnärzten für Gaumenabdrücke verwendeten Formmasse, »Stent's Composition», überzogen war. Nach Erweichen der Masse in warmem Wasser hatte die Versuchsperson durch Einbeissen tiefe Eindrücke von ihren beiden Zahnreihen darin gemacht, wodurch sichergestellt war, dass das Gebiss bei den verschiedenen Versuchen immer genau dieselbe Lage zum Kopfe einnahm. An diesem Gebisse hatte ich eine sehr empfindliche runde Wasserwage in solcher Lage befestigt, dass dieselbe angab, wann sich die Medianebene des Kopfes genau in horizontaler Lage befand. Bei der Aufnahme hielt die Versuchsperson das Gebiss im Munde, und machte auf Anforderung selbst eine starke Streckung oder Beugung des Kopfes; mittels der Wasserwage wurde dann die richtige Lage des Kopfes genau kontrolliert, dieser durch Sandsäcke fixiert, die Anode der Röntgenröhre vertikal über die Spitze des Warzenfortsatzes eingestellt und ganz kurz exponiert.

Zwecks Untersuchung der Seitenbewegungen geschah die Durchleuchtung in Rückenlage, von vorne nach hinten durch den offenen Mund. Die Anordnung war dabei in der Hauptsache dieselbe wie die eben beschriebene. Die Wasserwage war aber jetzt an dem Gebisse so befestigt, dass sie die horizontale Lage der *Frontal*ebene des Kopfes angab. Nachdem die Versuchsperson eine volle Bewegung nach der gewünschten Seite gemacht hatte und der Kopf sorgfältig orientiert und fixiert worden war, wurde das Gebiss vorsichtig entfernt, der Mund weit geöffnet, der Focus der Röhre möglichst genau vertikal über die Mitte des Gelenkes eingestellt und die Exposition vorgenommen.

Durch die angegebenen Vorsichtsmassregeln war es also sichergestellt, dass der »Normalstrahl» immer mit der Bewegungsachse zusammenfiel oder wenigstens ihr

parallel und in ihrer unmittelbaren Nähe verlief. Da weiter durch hinreichende Entfernung der Röhre dafür gesorgt wurde, dass das zur Anwendung kommende Strahlenbündel ganz eng war (die Divergenz der äussersten Strahlen betrug nur 5—7°) und der Röhren- und der Plattenabstand bei den zusammengehörigen Aufnahmen ganz unverändert blieben, ist es offenbar, dass der Einfluss der bei Röntgenuntersuchungen nie zu vermeidenden Verzerrungen des Bildes bei diesen Versuchen nur sehr gering sein konnte. Da es übrigens in diesem Falle auf die absolute Grösse der Bewegungen weniger ankam als auf das Feststellen der Existenz gewisser Bewegungen und ihrer gegenseitigen Beziehungen, schien es mir nicht unzulässig die Aufnahmen direkt mit einander zu vergleichen. Die Hauptresultate meiner Untersuchung sind jedenfalls dadurch nicht beeinflusst worden.

Vier von meinen Radiographien und zwar die aus dem Versuche IV b stammenden habe ich in den Taf. I und II reproduziert. Den ungefähren Winkelwert der jeweiligen Bewegungen in meinen sämtlichen Versuchen findet man in der Tab. III. Um die betreffenden Bewegungswinkel berechnen zu können, habe ich an den mit einander zu vergleichenden Platten mehrere möglichst sicher bestimmbare Punkte an den Schatten des Schädels und der beiden Wirbel aufgesucht und an jedem Bilde dieselben mit einander verbunden, wonach die Winkel, die diese Hilfslinien mit einander bildeten, genau gemessen und mit einander verglichen wurden.

Nach diesen Angaben über das Untersuchungsmaterial und die Versuchsanordnungen, gehe ich zu der Besprechung der einzelnen Bewegungen in den Kopfgelenken über, wobei ich zuerst die aus der Form der Gelenkflächen und dem Bau der Gelenke im übrigen zu ziehenden theoretischen Schlüsse betreffs der Beweglichkeit darlegen will, um dann zu prüfen, in wiefern meine Leichenversuche und Röntgenuntersuchungen dieselben bestätigen oder widerlegen.

1. Die sagittalen Bewegungen.

In solchen, relativ seltenen Fällen, wo die Kondylen und ihre Pfannen am Atlas Abschnitte eines regelmässigen Ringkörpers (mit kreisförmiger Erzeugungslinie) sind, können offenbar die Gelenkflächen, dank ihrem geringen Umfange und der Deformierbarkeit des Knorpels, auch in sagittaler Richtung ziemlich kongruent auf einander gleiten. In den häufigeren Fällen dagegen, wo jede Fläche in zwei einen Winkel mit einander bildende Fazetten geteilt ist, ist dies offenbar nicht möglich; nur in der Mittellage dürfte eine befriedigende Kongruenz bestehen, bei jeder Bewegung nach vorn oder hinten muss es zu einem teilweisen Klaffen des Gelenkes kommen. Gegen die Darstellung HENKE's[5], nach der die Flexion von der Mittellage aus um die Krümmungsachse der hintern Halbflächen und also mit kongruentem Schleifen dieser gegen einander vorsichgehen soll, die Extension dagegen um die Krümmungsachse der vorderen Fazetten, welche Achse, wie oben gezeigt wurde, etwas weiter nach hinten liegt, scheint mir theoretisch nichts einzuwenden zu sein. Nur ist seine Darstellung etwas unvollständig und wegen des Fehlens geeigneter Abbildungen nicht leicht verständlich.

Die Möglichkeit einer Nickbewegung genau um diese Krümmungsachsen wird von FICK[1] bestimmt verneint. Seine schematischen Abbildungen (Fig. 63 im Teil III des Handbuches), durch welche er seine Meinung begründen will, entsprechen aber meiner Erfahrung nach nicht der gewöhnlichen Form der Profile dieser Gelenkflächen, weshalb ich in Fig. 5 und 6 einen mehr typischen Fall schematisch wiedergebe. Die Konturen der Hinterhauptshöcker in mittlerer Lage sind in beiden Bildern durch die gestrichelten Linien angegeben, während die ausgezogenen Linien einer Extension (Fig. 5), resp. Flexion (Fig. 6) von je 15° entsprechen. Es ist nun klar, dass die Bewegung im ersteren Falle genau um die Achse A_v, welche der Krümmungsachse der vordern Fazette entspricht, vorsichgehen kann, wobei nicht nur diese Fazetten kongruent auf einander schleifen, sondern auch der hinterste Teil der Kondylenfläche mit dem hintern Rande der Atlaspfanne in Kontakt verbleibt,[1] so dass das Klaffen eigentlich nur im tiefsten Teil der Pfanne merkbar wird.

Sind die Krümmungsradien der beiden Halbflächen gleich gross, so kann auch die Flexion genau in derselben Weise verlaufen. Wenn aber die vordere Hälfte, wie

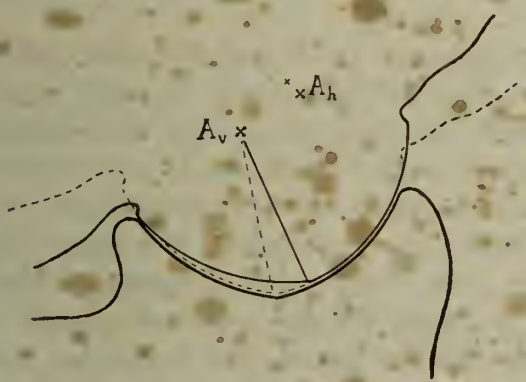


Fig. 5.

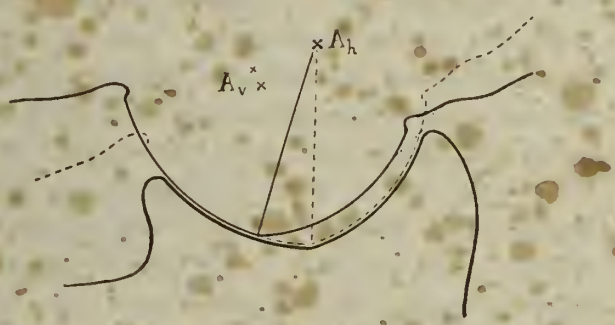


Fig. 6.

ich es in den Figuren dargestellt habe, stärker gekrümmt ist, so müsste eigentlich dieser Teil der Kondylenfläche bei der um die Achse A_h verlaufenden Flexion in seiner ganzen Ausdehnung von der Atlasfläche abgehoben werden (Fig. 6). Bisweilen findet man aber an dem vorderen Rande der Kondylenflächen eine kleine, anders gekrümmte Ergänzungsfazette, deren Profil ich mit der feinen punktierten Linie angegeben habe. Wenn der Krümmungsmittelpunkt dieser Fazette mit A_h zusammenfällt, wie es tatsächlich der Fall zu sein scheint, so ist es offenbar, dass sich die letztere während der ganzen Flexion auf den vorderen Rand der Atlasfläche stützen kann.

Den hier besprochenen Details betreffs der Ergänzungsfazette und der verschiedenen Krümmung der Halbflächen möchte ich keine grössere Bedeutung in mechanischer Hinsicht beimessen, da es sich augenscheinlich nur um individuelle Varia-

[1] Eine genauere Untersuchung zeigt, dass die Berührung der Knochen an dieser Stelle nicht *absolut* gleichmässig sein kann, da ja die Krümmung dieser Partie des Profils nicht A_v, sondern A_h zum Mittelpunkt hat; aber die Abweichungen sind bei dem begrenzten Bewegungsumfange ganz minimal und werden durch Knorpeldeformierung sicherlich leicht ausgeglichen.

tionen handelt. Theoretisch scheinen mir diese Verhältnisse immerhin ein gewisses Interesse darzubieten, und zwar besonders weil ich völlig entsprechende, aber viel mehr ausgeprägte Anordnungen bei verschiedenen Säugetieren z. B. Carnivoren und Ungulaten vorgefunden habe. Auf die nähere Besprechung derselben kann ich mich an dieser Stelle nicht einlassen.

Für die meisten praktischen Fragen dürfte es dagegen ganz hinreichend sein, die Nickbewegungen in den oberen Kopfgelenken auf die oben besprochene mittlere »Kompromissachse» zurückzuführen. Man muss dabei nur im Auge behalten, dass die Form der Gelenkflächen bei den meisten Individuen weder bei Streckung noch bei Beugung ein völlig kongruentes Gleiten erlaubt, und dass folglich die Belastung nur in einer mittleren Stellung etwa gleichmässig auf die ganzen Flächen verteilt ist. Die Nachgiebigkeit der Knorpelüberzuges, welche besonders in solchen Fällen, wo ein deutlicher Absatz zwischen den Halbflächen besteht, stark in Anspruch genommen werden muss, dürfte doch, wenigstens bei mässigen Exkursionen, die Druckdifferenzen befriedigend ausgleichen und den durch die Inkongruenz etwa vergrösserten Widerstand ermässigen können.

Betreffs des Umfanges der fraglichen Bewegungen kann man aus dem Bau des Gelenkes darauf schliessen, dass derselbe sehr variabel sein muss, da nicht nur die Prominenz der Hinterhauptshöcker, sondern auch die Krümmung ihrer Gelenkflächen bei verschiedenen Individuen stark wechseln. Bei flachen, wenig prominenten Höckern muss ein Anstossen der Ränder der Atlaspfannen gegen die Schädelbasis sehr bald eintreten, wenn nicht die Spannung der Kapseln und der übrigen Weichteile schon vorher die Bewegung zum Stillstande bringt, was wohl ziemlich häufig eintreffen dürfte. Die Angabe von Henke[6a], dass bisweilen auch der Griffelfortsatz durch Anstossen gegen den Querfortsatz des Atlas die Flexion des Kopfes begrenzen kann, habe ich in einem Falle bestätigen können.

Obwohl die Form der Flächen in den seitlichen *Atlantoaxialgelenken* einer Verschiebung des Atlas auf der Axis nach vorne oder nach hinten gar nicht im Wege steht, scheint beim ersten Anblicke eine Sagittalflexion im unteren Kopfgelenke wegen der festen Einfügung des Zahnfortsatzes zwischen dem vorderen Atlasbogen und dem Querbande fast ganz ausgeschlossen zu sein. Die meisten Autoren verneinen auch aus diesem Grunde die fragliche Bewegung. Selbst wenn man mit Virchow[15] auf die Dehnbarkeit des Ligamentes und die Kompressibilität des Knorpels Rücksicht nimmt, scheint der Spielraum für Verschiebungen des Zahnfortsatzes nach vorne und hinten ungenügend zu sein, um merkbare Nickbewegungen in diesem Gelenke zu gestatten.

Bei einem solchen Schlusse hat man aber eine Möglichkeit ausser Betracht gelassen, nämlich dass sich die Bewegung um eine transversale Achse durch den Zahnfortsatz zwischen dem vorderen und dem hinteren Zahngelenke vollziehen kann, wie ich es in der Fig. 7 zu veranschaulichen versucht habe. Da diese Bewegungsachse also ziemlich genau durch die Insertionsstellen des Lig. transversum atlantis verläuft, und da die vordere Gelenkfläche des Zahnes ziemlich klein ist und übrigens, wie ich oben bemerkt habe, am Sagittalschnitte öfter eine nach vorne konvexe Krüm-

mung zeigt, deren Mittelpunkt ebenfalls in der Nähe der betreffenden Achse liegt, ist es offenbar, dass die Einfügung des Zahnfortsatzes in dem fibroossösen Ringe der fraglichen Bewegung nicht hinderlich zu sein braucht und dass »in den Zahngelenken vorn und hinten ein abwechselndes Klaffen» (Fick[1] B. III, S. 120) gar nicht nötig ist. Der vordere Atlasbogen gleitet bei Streckung nur etwas aufwärts, bei Beugung etwas abwärts auf der Vorderfläche des Zahnes. Da die Bewegungsachse oberhalb der seitlichen Atlantoaxialgelenke liegt, ist es selbstverständlich, dass auch die unteren Atlasflächen auf der Axis schleifen müssen und zwar nach vorne bei der Streckung, nach hinten bei der Beugung. — Wenn die Achse der sagittalen Krümmung der Atlasflächen mit der Bewegungsachse zusammenfiele, würde die Bewegung einem regelmässigen »Linienschleifen am Ort» (Fick) entsprechen, und es würde auch bei den grössten Exkursionen keine Hemmung von Seiten der Gelenkflächen eintreten. Eine derartige Krümmung dürfte aber kaum jemals vorkommen; gewöhnlich fand ich

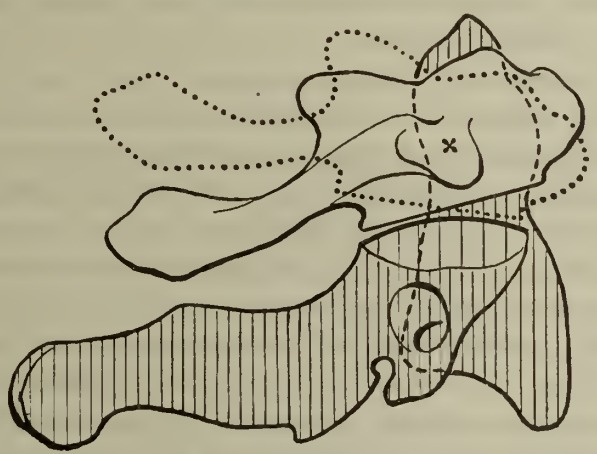


Fig. 7.

das Sagittalprofil der Atlasflächen ziemlich geradlinig, bisweilen sogar etwas konkav gekrümmt. Unter solchen Umständen muss es sich streng genommen um eine Mischbewegung aus Schleifen und Rollen handeln, welche nicht um eine absolut stillstehende Achse verlaufen kann,[1] und bei grösseren Bewegungen muss es zu einem Anstemmen der vorderen oder hinteren Teile der Gelenkflächen gegen einander kommen. Je nach dem Grade der Inkongruenz zwischen den Axis- und Atlas-flächen tritt diese Hemmung früher oder später ein; je mehr konvex jene, und je weniger konkav resp. mehr konvex diese Flächen von vorne nach hinten sind, um so grösser muss die Beweglichkeit sein. Aus der grossen Variabilität der Gelenkflächenkrümmung

[1] Von einer näheren Analyse dieser recht komplizierten Bewegung glaube ich um so eher abstehen zu können, als eine solche wegen der grossen Variabilität der Gelenkflächen doch nur auf einen willkürlich gewählten Einzelfall beziehbar wäre. Zu dem oben gesagten möchte ich nur hinzufügen, dass die Benennung »Schaukelbewegung», welcher sich Fick für die sagittalen Verschiebungen des Atlas gegen die Axis bedient, dem tatsächlichen Verhalten schlecht entspricht; beim Schaukeln liegt die momentane Bewegungsachse an der Grenze der beiden sich bewegenden Körper, was in dem untern Kopfgelenk schon deshalb unmöglich ist, weil die Berührungslinie der Gelenkflächen nicht gerade ist.

kann man also auf einen individuell sehr wechselnden Umfang der Nickbewegungen im hintern Kopfgelenke schliessen. Dass sich auch eine Hemmung durch das Anstossen der beiden Wirbelbogen gegen einander oder durch die Spannung der fibrösen und muskulären Verbindungen des zweiten Wirbels mit dem Atlas und dem Kopfe denken lässt, braucht nicht betont zu werden. In Hinsicht darauf, dass die letzteren in ihrer Länge so bemessen sind, dass sie erhebliche Drehungen um die vertikale Achse erlauben, und dass die Entfernung ihrer Insertionen von der eben angegebenen transversalen Achse ziemlich dieselbe ist, wie von der vertikalen, ist es aber deutlich, dass sie alle in mittlerer Stellung relativ schlaff und auch den Sagittalbewegungen wenig hinderlich sein müssen.

Die obigen theoretischen Schlussfolgerungen betreffs der Möglichkeit von Nickbewegungen wechselnden Umfanges, nicht nur im oberen sondern auch im unteren Kopfgelenke, sind durch meine *Leichenversuche* und meine Röntgenuntersuchungen an Lebenden vollends bestätigt worden.

Aus den Zahlen in den drei ersten Kolumnen der Tab. II, welche den Umfang der unter den S. 16 angegebenen Vorsichtsmassregeln geprüften sagittalen Beweglichkeit der beiden Kopfgelenke an Leichenpräparaten angeben, sieht man, wie starken individuellen Wechselungen dieselbe unterworfen ist. Der Umfang der Nickbewegungen an meinen 10 Präparaten, wechselte in dem oberen Gelenk zwischen $13^1/_2°$ und 26°, in dem unteren Gelenk zwischen 5° und 22°, in beiden Gelenken zusammen zwischen 25° und 41°. Wichtiger als diese absoluten Zahlen, welche, wie ich oben begründet habe, nur einen beschränkten Wert haben, scheint mir das Verhältnis zwischen den Bewegungen beider Gelenke in den Einzelfällen. Eine Prüfung der Zahlen in dieser Hinsicht ergibt, dass die Beweglichkeit in dem unteren Gelenke bisweilen ebenso gross (Fall IV) ja sogar etwas grösser (Fall VI) als die in dem oberen Gelenke sein kann, dass sie aber in andern Fällen (I, VII und X) nur etwa $^1/_3$ oder $^1/_4$ davon ausmacht. Nach den Durchschnittszahlen sind die Exkursionen im unteren Gelenke etwas mehr als halb so gross wie die im oberen (= 11°,2 : 18,9).

Mit meinen obigen Zahlen ziemlich vergleichbar sind die Angaben Virchow's[15,16] über die sagittalflexorische Beweglichkeit in den menschlichen Kopfgelenken. Er hat an zwei »Gipsformpräparaten» die Exkursionen in den betreffenden Gelenken gemessen und im oberen Gelenke eine Beweglichkeit von $20^1/_2°$ resp. 22°, im unteren von $7^1/_2°$ resp. 14° gefunden. Trotzdem seine Resultate mit einer ganz anderen Methode gewonnen sind, stimmen sie also mit den meinigen ganz gut überein. Auffallend ist dagegen der Unterschied zwischen Virchow's und meinen Zahlen einerseits und den sonst in der Litteratur vorkommenden Angaben (Henlé[7], Gerlach[2] u. a.) über den Umfang der Nickbewegungen andererseits. Die letzteren werden gewöhnlich auf etwa 45° geschätzt und ausschliesslich in das obere Gelenk verlegt. Da die betreffenden Autoren sich auf keine eigenen Untersuchungen berufen, machen es unsere Versuche wahrscheinlich, dass die letztgenannte Zahl viel zu gross ist. Mit aller Reserve wegen des kleinen Materials möchte ich einstweilen die sagittale Beweglichkeit im oberen Kopfgelenke zu rund 20°, im untern zu etwas mehr als 10° schätzen.

Um zu erfahren, inwiefern der Umfang der sagittalen Bewegungen in den Kopfgelenken von den fibrösen Verbindungen der beiden ersten Halswirbel mit dem Kopfe und mit einander beeinflusst werde, habe ich an einigen Präparaten nach einander die verschiedenen Kapseln und Bänder durchschnitten und danach die Exkursionsgrösse wieder geprüft. Es zeigte sich dabei, dass meistens nur die Beweglichkeit im oberen Gelenke durch diese Hindernisse beschränkt wurde, und zwar war es hauptsächlich die Membrana atlantooccipitalis posterior und das Ligamentum longitudinale anterius, welche als Hemmungsbänder wirkten. Die Beweglichkeit im unteren Gelenke verblieb gewöhnlich ziemlich unverändert, selbst nach Durchschneidung sämtlicher Bänder (Lig. transvers. atl. ausgenommen), was darauf hindeutet, dass die Hemmung der Nickbewegung in diesem Gelenke hauptsächlich durch das Anstemmen der vordern oder hintern Abschnitte der Gelenkflächen gegeneinander bewirkt wird. Nach Durchschneidung des Lig. transv. liessen sich zwar grössere Bewegungen in der Sagittalebene ausführen, aber diese waren ganz anderer Art als die Bewegungen bei unversehrtem Querbande und eher Schaukel- oder Kipp-bewegungen ähnlich.

Dass bei Extensions- und Flexionsbewegungen im unteren Gelenke die Atlasflächen nach vorne resp. nach hinten auf den Axisflächen gleiten, wie ich oben angegeben habe, und dass folglich die Bewegungsachse etwas oberhalb der Gelenkspalten liegt, liess sich bei meinen Leichenversuchen ebenfalls leicht konstatieren. Hat man ein Präparat, wo die betreffende Beweglichkeit nicht besonders klein ist, so braucht man nur die Finger auf die vorderen Ränder der Gelenkflächen zu legen, um die Verschiebungen des Atlas nach vorne und hinten direkt fühlen zu können. An geeigneten Präparaten kann man auch das Auf- und Niedergleiten des vordern Atlasbogens vor dem Zahnfortsatze deutlich sehen.

Die einzelnen Details in den Bewegungen des oberen Gelenks lassen sich an Leichenpräparaten nicht so leicht demonstrieren. Das charakteristische Klaffen bei stärkerer Beugung und Streckung kann man jedoch an passenden Sagittalschnitten durch das Gelenk oft gut studieren. Die oben besprochene abwechselnde Bewegung um die Krümmungsachsen der vordern und der hintern Halbflächen (Henke[5]) habe ich dagegen an Gelenkpräparaten von Menschen nicht sicher feststellen können, was aber in mangelhaften Versuchsanordnungen seinen Grund haben kann.

Was endlich meine *Röntgenuntersuchungen* betrifft, so war es wegen der tiefen Lage dieser Gelenke schon von vornherein kaum zu erwarten, dass sie hinreichend scharfe Bilder liefern könnten, um eine völlig exakte Bestimmung der Gelenkachsen u. dgl. zu erlauben. Meine Absicht war nur, einen unwiderleglichen Beweis dafür herbeizuschaffen, dass die Nickbewegungen auch im Leben nicht ausschliesslich auf das obere Kopfgelenk beschränkt sind, und wenn möglich auch den Umfang dieser Bewegungen in den beiden Gelenken annähernd berechnen zu können. Ein Blick auf Taf. I, wo die Gelenke in Extensions- und Flexionslage bei einem und demselben Individuum radiographisch dargestellt sind, zeigt, dass meine Hoffnung nicht gescheitert ist. Wenn man die beiden Figuren mit einander vergleicht, sieht man sogleich, dass die Entfernung des hintern Atlasbogens nicht nur von der Hinterhauptschuppe, sondern auch von dem Dornfortsatze des zweiten Halswirbels von der Extensionslage aus (Fig. 1) bis zur Flexion (Fig. 2) beträchtlich zugenommen

hat. An der Originalplatte betrug diese Zunahme resp. 7 und 4 mm. Die Berechnung der Winkelgrösse der in diesem Versuche gemachten Bewegung ergab, dass sich das Atlantooccipitalgelenk um 17° und das Atlantoaxialgelenk um 8° bewegt hatte. Von der ganzen 25° betragenden Nickbewegung kamen also rund $^2/_3$ auf das obere und $^1/_3$ auf das untere Gelenk.

Eine andere Untersuchung an derselben Versuchsperson (IV a) sowie ähnliche Untersuchungen an 3 anderen Individuen ergab als Resultat, dass die sagittalen Exkursionen im oberen Gelenk von $4^1/_2°$ bis 17°, im unteren von 3° bis $20^1/_2°$, und in beiden Gelenken zusammen zwischen 8° und 25° wechselten. Dreimal war die Exkursionsweite im oberen Gelenk etwa doppelt so gross wie im unteren; zweimal dagegen übertraf die Winkelgrösse der Bewegung im unteren Gelenke die des oberen; im Versuch I war jene sogar mehr als 4 mal grösser als diese.

Besonders auffallend sind die verschiedenen Resultate der beiden mit IV a und b bezeichneten Versuche, welche an demselben Individuum mit einer Zwischenzeit von nur einigen Minuten gemacht wurden. Bei dem zweiten Versuche war die ganze Bewegung (in beiden Gelenken) mehr als doppelt so gross wie im ersten, aber die Vergrösserung betraf nur das obere Gelenk, während das untere in beiden Versuchen fast genau dieselbe Bewegung ausführte.

Hauptsächlich aus den letztgenannten Versuchsresultaten glaube ich schliessen zu können, dass die aus meinen Untersuchungen an Lebenden hervorgehenden und in der Tabelle angeführten Zahlen nicht als Maximalwerte der Beweglichkeit bei den betreffenden Individuen aufzufassen sind. Zwar wurde die Versuchsperson immer aufgefordert, eine möglichst vollständige Beugung des Kopfes in angewiesener Richtung zu machen, aber es scheint, als ob man (vielleicht nur wegen mangelnder Übung) die Innervation der einzelnen Muskeln nicht hinreichend beherrsche, um die zu Gebote stehenden Bewegungsmöglichkeiten immer vollständig ausnützen zu können. Gerade die Versuchsperson IV (einer von meinen Assistenten) hatte vollauf die theoretischen Voraussetzungen, um die Bewegungen nach meinen ihm wohl bekannten Intentionen ausführen zu können; und doch fielen die beiden Parallelversuche so verschieden aus. — Auch die auffallend kleine Beweglichkeit im Fall II möchte ich einer für Maximalbewegungen ungeeigneten Innervation zuschreiben. Bei den X-Aufnahmen, die an mir selbst genommen wurden, hatte ich nämlich die Aufmerksamkeit streng darauf gerichtet, die Bewegung so weit wie möglich in den obersten Halsgelenken mit nur unbedeutender Beteiligung der unteren auszuführen. Es kommt mir als sehr wahrscheinlich vor, dass ich gerade dadurch die langen, gemeinsamen Halsmuskeln, die ja auch auf die Kopfgelenke sehr kräftig wirken, aus der Teilnahme an der Bewegung wenigstens partiell ausgeschaltet habe. — Wenn diese meine Erklärung richtig ist, so erscheint es auch ganz natürlich, dass meine Untersuchungen an Lebenden im allgemeinen kleinere Werte für die Beweglichkeit der Kopfgelenke ergeben haben als meine Leichenversuche. (Vgl. Tab. II und III.)

In meinen sämtlichen Versuchen an Lebenden zeigte es sich, dass *beide Kopfgelenke*, obwohl in sehr wechselndem Verhältnis an den Nickbewegungen teilnahmen. In Anbetracht der schon durch die Leichenversuche erwiesenen, relativ bedeutenden

passiven Beweglichkeit beider Gelenke, scheint mir dies leicht verständlich, da ja sowohl die Schwerkraft als auch die meisten und noch dazu die stärksten der von der Wirbelsäule und dem Schultergürtel zum Kopfe ziehenden Muskeln ungefähr in derselben Weise und in etwa gleichem Masse auf die beiden Kopfgelenke einwirken müssen. Um die Bewegungen auf das eine der beiden Gelenke zu beschränken, müsste man das andere in irgendwelcher Weise feststellen können. Es scheint mir aber kaum annehmbar zu sein, dass man die hierzu nötigen Eingelenkmuskeln, die unter den Mm. recti capitis anter. und lateral., obliqui, rect. post. min. und intertransversar. I zu suchen wären, zu diesem Zwecke einzeln innervieren könnte.

Die sehr komplizierte Anordnung der ganzen Muskulatur im Verhältnis zu den verschiedenen Bewegungsachsen beider Gelenke macht es auch wahrscheinlich, dass dasselbe Resultat hinsichtlich der Stellung des Kopfes nicht immer in gleicher Weise erreicht wird, und dass also nicht nur individuelle Unterschiede vorkommen können, sondern auch bei einem und demselben Individuum der Verlauf der einzelnen Bewegungsphasen je nach der Ausgangsstellung, der Belastung u. dgl. wechseln kann. Zu Gunsten einer solchen Auffassung sprechen auch meines Erachtens die Resultate der Versuche IV a und b.

2. Die seitlichen Bewegungen.

Dass die Krümmung der Gelenkflächen im Atlantooccipitalgelenke Neigungen des Kopfes nach den Seiten erlaubt, dürfte kaum bestritten werden können. Bei der üblichen Auffassung der Gelenkflächen als Abschnitte eines quergestellten Ellipsoides oder eines »Idealeikörpers» braucht man nur eine mässige Inanspruchnahme der Kompressibilität des Knorpels vorauszusetzen, um ein annähernd kongruentes Schleifen der Flächen auf einander annehmen zu können. Wenn man sie dagegen als Teile eines Drehkörpers mit von vorne nach hinten verlaufender Achse betrachtet, was ich als richtiger erachte, dann müssen natürlich Bewegungen um die Drehachse mit völlig erhaltener Kongruenz verlaufen. In Hinsicht darauf sind die Seitenneigungen tatsächlich für das Gelenk viel mehr »typisch» als die sagittalen Bewegungen.

Streng genommen ist ja diese »typische» Bewegung wegen der schräg nach hinten unten verlaufenden Achse keine reine Seitenneigung, sondern die letztere ist, wie schon Henke[5, 6] hervorgehoben hat, mit einer kleinen Drehung des Kopfes nach der entgegengesetzten Seite verbunden. In Anbetracht des geringen Umfanges der ganzen Bewegung sowie vor allem der grossen Leichtigkeit, womit die rotatorische Komponente derselben durch eine kleine Drehung nach der entgegengesetzten Seite in dem naheliegenden Atlantoaxialgelenke neutralisiert werden kann, scheint mir jener Komponente keine weitere Bedeutung zugemessen werden zu können. Da dieses Detail auch in keiner direkten Beziehung zu dem Mechanismus der Kopfgelenke im übrigen zu stehen scheint, habe ich geglaubt, von demselben absehen zu können, und werde im folgenden nur die reinen, in der Frontalebene verlaufenden Seitenneigungen berücksichtigen. Die Bewegungen der letztgenannten Art sind offenbar mit dem Bau des Gelenkes ebensogut vereinbar, wie die Bewegungen in der Sagittalebene; die

Kongruenz der Gelenkflächen in den verschiedenen Bewegungsphasen muss bei jenen Bewegungen entschieden besser sein als bei diesen, wenn sie auch nicht so vollkommen ist wie bei den typischen Bewegungen um die schräge Achse. — Dass auch eine asymmetrische Entwicklung der Kondylen und der Atlaspfannen, wenn sie nur eine gemeinsame Krümmungsachse haben, ein kongruentes Schleifen der Flächen gegeneinander erlaubt, wurde schon oben S. 8 gezeigt.

Der Umfang der Bewegungen in frontaler Richtung im oberen Kopfgelenke ist selbstverständlich von der Grösse und der Prominenz der Gelenkhöcker sowie von der Tiefe der Atlaspfannen in hohem Grade abhängig und man kann also, wie oben bei der Frage nach den sagittalen Bewegungen (S. 21) auf starke individuelle Schwankungen schliessen. Die daselbst gezogenen Schlüsse betreffs der Hemmung durch Knochen und Weichteile sind ebenfalls auf die Seitenbewegungen anwendbar.

Meine Untersuchungen über die Krümmungsverhältnisse der Gelenkflächen des unteren Kopfgelenkes haben gezeigt, dass das Querprofil der in Mittelstellung sich berührenden Teile der Gelenkflächen in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle einem Kreisbogen ziemlich genau entspricht, dessen Mittelpunkt etwa an der Grenze des dritten und vierten Halswirbels liegt. So gestaltete Flächen können offenbar um eine durch diesen Mittelpunkt verlaufende sagittale Achse mit völlig erhaltener Kongruenz auf einander schleifen. Eine Bewegung dieses Gelenkes in der Frontalebene muss also in dem Umfange möglich sein, wie es einerseits die Form der Knochen im übrigen — namentlich die Einfassung des Zahnfortsatzes zwischen den Seitenmassen des Atlas — anderseits die Weichteile erlauben. Was zuerst den Zahn betrifft, hat mir die Untersuchung einer grossen Anzahl von Präparaten gezeigt, dass so gut wie immer ein gewisser Spielraum für seitliche Verschiebungen desselben vorhanden ist. Im Gegensatz zu den sagittalen Verschiebungen, welche, wie oben angedeutet wurde, bei unversehrtem Querband fast unmerklich sind, betragen jene meistens ein paar mm nach jeder Seite, bisweilen noch mehr. Ich kann mich nur eines einzigen Falles erinnern, wo Seitenverschiebungen des Zahnes fast ganz ausgeschlossen waren, es handelte sich aber dabei um ein durch arthritische Wucherungen stark verändertes Gelenk.[1]

Eine Beschränkung dieser Seitenverschiebungen durch die Kapseln und die übrigen fibrösen Verbindungen ist kaum zu erwarten, wann man erwägt, wie unbedeutend die bei diesen jedenfalls sehr mässigen Verschiebungen entstehenden Dehnungen der Weichteile sein müssen im Verhältnis zu den Verlängerungen, die mit den viel umfangreicheren rotatorischen Bewegungen verbunden sind.

In solchen, weniger häufigen Fällen, wo das Querprofil der fraglichen Gelenkflächen keinen regelmässigen Kreisbogen, sondern eine gerade oder etwas unregelmässig gebogene Linie bildet, kann natürlich eine Bewegung der letztbesprochenen Art nicht mit völlig kongruentem Schleifen vorsichgehen. Da es sich wegen des hinderlichen Zahnfortsatzes immerhin nur um ganz kleine Bewegungen handelt und

[1] Die relativ flache Krümmung in der Horizontalebene, welche die Gelenkfläche am vorderen Atlasbogen im Vergleich mit der mit ihr artikulierenden Densfläche zeigt, müss natürlich den seitlichen Verschiebungen des Zahnfortsatzes günstig sein.

der Knorpelüberzug gerade in diesem Gelenke relativ dick ist und also die etwaigen Inkongruenzen während der Bewegung leicht ausgleichen kann, dürfte auch in solchen Fällen die Krümmung der Gelenkflächen eine mässige Bewegung in seitlicher Richtung nicht hindern.

Durch die hier angeführten Tatsachen scheint der Schluss hinreichend begründet zu sein, dass in der Articulatio atlantooccipitalis gewisse Seitenneigungen um eine sagittale Achse durch den Bau des Gelenkes nicht ausgeschlossen sind, sondern im Gegenteil in der Mehrzahl der Fälle den anatomischen Verhältnissen völlig entsprechen. Dass der Umfang dieser Bewegungen (beim Menschen) relativ klein ist, liegt vor allem an dem gegenseitigen Grössenverhältnisse des Zahnes und des Raumes zwischen den Atlasseitenmassen, was auch für die individuellen Schwankungen der Beweglichkeit ausschlaggebend sein dürfte.

In voller Übereinstimmung mit diesen theoretischen Schlüssen haben meine *Leichenversuche* über die Beweglichkeit der beiden Kopfgelenke in der Frontalebene ergeben, dass die Seitenneigungen des Kopfes normalerweise auf die beiden betreffenden Gelenke verteilt sind. Wie aus der Tabelle II hervorgeht, waren meistens die Exkursionen im oberen Gelenke bedeutend grösser als im unteren; in zwei Fällen aber (IV und VIII) waren sie etwa gleichgross; in keinem einzigen von den 10 Fällen fehlte die seitliche Beweglichkeit im unteren Gelenke ganz. Der Umfang der Bewegungen im Atlantooccipitalgelenke war auffallend konstant (6° bis 8°, Mittel: 7,05°); im Atlantoaxialgelenke dagegen fanden sich Schwankungen von 2° bis 9½° (Mittel: 3,8°). Eine gesetzmässige Relation des Bewegungsumfanges im oberen Gelenke zu dem des unteren, oder der seitlichen Beweglichkeit zu der sagittalen, liess sich an meinem Material nicht feststellen. Die ganze seitliche Beweglichkeit in beiden Gelenken zusammen betrug 8° bis 17½°, durchschnittlich 10°,85. Bestimmte Massangaben über den Umfang der Seitenneigungen des Kopfes habe ich in der Literatur nicht finden können, mit Ausnahme einer Angabe in Fick's Handbuch, dass derselbe »etwa 15—20° nach jeder Seite hin» beträgt, dass aber in manchen Fällen eine Seitenneigung geradezu unausführbar ist. Nach Mitteilung Prof. Fick's sind die Worte »nach jeder Seite hin» ein lapsus calami statt »nach beiden Seiten zusammen». Immerhin dürften seine Zahlen zu gross sein. Aus der Länge des Krümmungsradius (rund 4 cm) ist es nämlich leicht zu berechnen, dass eine Bewegung von 20° eine Seitenverschiebung der Kondylen in den Atlaspfannen von beinahe 1½ cm voraussetzt, was aber mit dem Bau des Gelenkes ganz unvereinbar erscheint. Schon die von mir gefundene durchschnittliche Beweglichkeit von 7° entspricht Verschiebungen der Gelenkflächen von beinahe ½ cm.

An meinen Gelenkpräparaten liessen sich die Verschiebungen des ersten und des zweiten Halswirbels gegen einander bei den Seitenneigungen durch Betasten der lateralen Ränder der Gelenkflächen oder durch direkte Beobachtung nach Wegnahme der vordern Kapselwand meistens sehr leicht feststellen. Dagegen war es mir wegen des kleines Umfanges der Bewegungen nicht möglich, die exakte Lage der Bewegungsachse auf experimentellem Wege zu bestimmen; dies ist aber auch kaum nötig, da kein Zweifel darüber bestehen kann, dass diese mit der auf oben angegebene Weise

bestimmten Krümmungsachse zusammenfällt. — Von meinen Leichenversuchen wäre noch zu erwähnen, dass das Durchschneiden der Kapseln und Bänder auf den Umfang der Seitenbewegungen im unteren Gelenke fast gar keinen Einfluss hatte; das spricht zu Gunsten meiner Meinung, dass die Hemmung dieser Bewegung hauptsächlich durch den Zahnfortsatz geschieht. Im oberen Gelenke fand ich dagegen bisweilen eine nicht unbeträchtliche Zunahme der Beweglichkeit nach Durchschneiden der seitlichen Teile der Gelenkkapseln, welche also als Hemmungsbänder wirken können.

Bei meinen *Röntgenuntersuchungen* über die Seitenbewegungen in den Kopfgelenken hat der Versuch II aus dem Grunde zu keinem Resultat geführt, weil der Schatten der stark gewölbten Hinterhauptschuppe diejenigen der Gelenke grösstenteils verdeckte und dadurch eine sichere Bestimmung der Lageveränderungen der Knochen unmöglich machte. In dem Versuche I ergab die nähere Prüfung der beiden bei Neigung des Kopfes nach links und nach rechts aufgenommenen Bilder nur einen Unterschied von höchstens 1° in der Lage des Atlas im Verhältnis zum Schädel und keinen messbaren Unterschied in der gegenseitigen Lage der beiden obersten Halswirbel. Da aber in diesem Falle die Schattenbilder eine völlig regelmässige Krümmung der Gelenkspalten zwischen dem Atlas und der Axis und auf jeder Seite des Zahnfortsatzes einen etwa 3 mm breiten Raum zwischen ihm und den Massæ laterales atlantis zeigten, dürfte man wohl kaum berechtigt sein, aus diesem einzigen Versuche den Schluss zu ziehen, dass das betreffende Individuum wirklich keine Seitenneigungen in den Kopfgelenken ausführen konnte. Es kann in Frage gestellt werden, ob man nicht, in Übereinstimmung mit der oben S. 24 gegebenen Erklärung, die Ursache in einer ungeeigneten Innervation der Muskulatur, welche nur die unteren Halswirbelgelenke in Anspruch nahm, zu suchen hat. Jedenfalls bleibt das Resultat dieses Versuches zweifelhaft.

Um so besseren Erfolg hatten die übrigen Versuche. Die von dem Versuche IV b stammenden Radiographien, welche auf Tafel II wiedergegeben sind, zeigen mit aller erwünschten Deutlichkeit, dass auch im Leben eine Seitenbewegung im unteren Kopfgelenke vorkommt. Der helle Zwischenraum zwischen dem Zahnfortsatze und der Seitenmasse des Atlas ist bei Neigung des Kopfes nach links viel breiter an dieser Seite als an der rechten, während die Neigung nach rechts eine bedeutende Zunahme des rechten Zwischenraumes auf Kosten des linken bewirkt. Dass dies von einem Gleiten des Atlas seitwärts auf der Axis herrührt, kann nicht bezweifelt werden, und erhält übrigens weitere Bestätigung, wenn man die Lage der unteren lateralen Ecke des Atlasschattens im Verhältnis zum Seitenrande des Axisschattens betrachtet. Die bei der Neigung nach der gleichnamigen Seite über die Axis herausragende Ecke zieht sich bei Neigung nach der entgegengesetzten Seite ganz deutlich zurück auf die obere Fläche der Axis. Auch die Veränderungen in der Lage des Atlas im Verhältnis zum Schädel kommen an den Schattenbildern deutlich zum Ausdruck, indem der Schädelschatten den Schatten des Atlas an der Seite, nach welcher die Seitenbiegung geschah, weit mehr als an der andern Seite verdeckt.

Eine genaue Messung und Berechnung der Lageveränderungen der Schatten zu einander ergab, dass in dem jetzt besprochenen Versuche die Bewegung im Atlanto-

occipitalgelenk $8^1/_2°$, im Atlantoaxialgelenk 3° betrug. In einem anderen in derselben Sitzung vorgenommenen Versuche (IV a) an demselben Individuum waren die Bewegungen ein klein wenig grösser (9° resp. 4°). Bei einem anderen Individuum (III) fand ich wiederum eine geringere Beweglichkeit. Von dem Gesamtbetrag der Seitenneigungen in den Kopfgelenken, der nur 7° war, kamen 5° auf das obere und 2° auf das untere Gelenk. Dass diese Zahlen nicht als Maximalwerte betrachtet werden können, ist schon aus dem oben über die Sagittalbewegungen gesagten klar.

Da ich die Ablesungsfehler bei meinen Messungen an den Röntgenplatten nur auf etwa 1° schätzen kann, scheinen mir diese Versuche betreffs der Hauptfrage volle Beweiskraft zu haben, und da sie zu ganz demselben Resultate geführt haben wie die oben besprochenen Untersuchungen an totem Material, so lassen sie keinen Zweifel übrig, dass das untere Kopfgelenk normalerweise an den Seitenneigungen des Kopfes teilnimmt.

Der Umfang der dabei vorkommenden Bewegungen in diesem Gelenk ist ja relativ gering, er beträgt nur ganz wenige Grade, und man könnte deswegen vielleicht geneigt sein, dieselben als für den eigentlichen Mechanismus ganz belanglose Wackelbewegungen zu betrachten, wie solche ja in fast jedem Gelenke vorkommen. Gegen eine solche Auffassung möchte ich erstens das *regelmässige* Vorkommen einer derartigen Beweglichkeit beim Menschen und ferner die schon in der Einleitung berührte Tatsache anführen, dass ich bei den meisten Säugetieren ganz ähnliche Bewegungen im Atlantoaxialgelenk vorfand. Der Umfang derselben beträgt bei vielen Tieren 20—30° oder noch mehr. Vor allem spricht aber dagegen der Umstand, dass die Seitenbewegungen im unteren und oberen Gelenke mit einander so intim verbunden sind, dass sie gewissermassen nur als Teilerscheinungen einer einheitlichen, ganz typischen Bewegung vorkommen. — Diese Kombination der Bewegungen ist schon vom rein mechanischen Gesichtspunkte aus ganz interessant und muss hier etwas ausführlicher besprochen werden.

Wenn man an einem Präparat der Kopfgelenke — am besten einem solchen, wo die Wirbelbogen und die Membrana tectoria entfernt sind und die tieferen Teile der Gelenke offen liegen — Seitenbewegungen ausführt, so ist es in der Regel sehr leicht zu sehen, wie der Atlas zwischen das Hinterhauptsbein und die Axis nach derjenigen Seite hinüberrückt, nach welcher die Beugung geschieht. Die dabei eintretenden Lageveränderungen der Skelettteile gegen einander habe ich an der nach einem Präparate gezeichneten Fig. 8 dargestellt, an welcher die gestrichelten und ausgezogenen Konturen des Atlas und der Schädelbasis die Endlagen dieser Knochen bei einer im ganzen 16° betragenden Kopfneigung von der einen Seite zur anderen angeben.[1]

Wenn der Atlas seitlich auf die Axis gleitet, was selbstverständlich durch Drehung um die unten gelegene Achse a^1 geschieht, muss auch die durch den Clivus verlaufende Achse, um welche sich die Bewegungen zwischen Schädel und Atlas vollziehen, seitlich verschoben werden (von a^2 nach a^3 oder umgekehrt). Wenn sich aber gleichzeitig das

[1] Nach dieser Figur kann man leicht ein Modell verfertigen, an dem sich der Mechanismus der Seitenbewegungen in den Kopfgelenken vorzüglich demonstrieren lässt. Die schraffierten Durchschnitte der Knochen können aus einem dünnen Brette ausgesägt, die beiden Atlashälften vor und hinter dem Zahnfortsatze in richtiger Entfernung von einander mittels Blechstreifen verbunden (vorderer Atlasbogen und Lig. transversum) und dann an der Stelle der Ligg. alaria dünne Lederstreifen o. dgl. von der Spitze des Zahnes nach den Kondylen gespannt werden.

obere Gelenk nach derselben Seite dreht, ergibt sich, dass die wirkliche (absolute) Seitenneigung des Kopfes annähernd um eine durch die Spitze des Zahnfortsatzes, etwa an der Insertionsstelle der Flügelbänder verlaufende Achse A vorsichgeht. Der Hinterhauptskondylus derjenigen Seite, nach welcher die Beugung geschieht, senkt sich, an der anderen Seite rückt er nach oben und es kommt einem so vor, als würde die keilförmige Seitenmasse des Atlas auf jener Seite aus seiner Lage zwischen dem Kondylus und der Axis hinausgepresst, während sie an dieser Seite in den erweiterten Zwischenraum tiefer hineinglitte. Die Verschiebung des Atlas erinnert etwas an das Vor- und Rückwärtsrutschen der C-Knorpel auf der Tibiafläche bei Streckung und Beugung des Knies.

Eine nähere Untersuchung ergibt, dass der Mechanismus dieser kombinierten Bewegung in den beiden Gelenken hauptsächlich durch die Ligg. alaria geregelt wird. Durch ihre Insertion an der Zahnspitze hindern sie jede erheblichere Bewegung die nicht konzentrisch um diesen Punkt verläuft; sie wirken als Hemmungsbänder sowohl im oberen

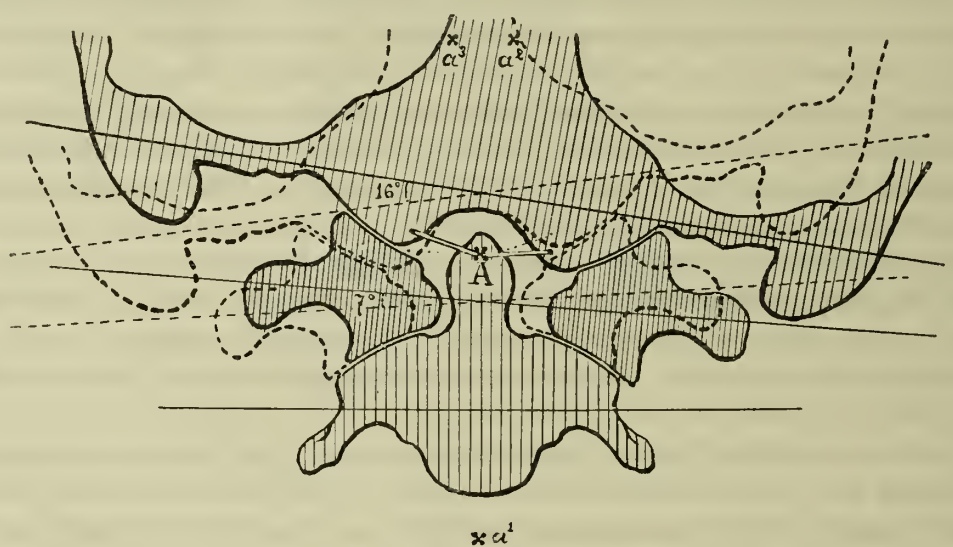


Fig. 8.

Gelenke wie im unteren, wohlgemerkt aber in entgegengesetzter Richtung, und gerade dadurch wird die Beweglichkeit freier, wie uns folgende Betrachtung lehrt. Bei einer Seitenneigung des Kopfes z. B. nach *rechts*, die nur in dem oberen Gelenke vorsichginge, würde das *linke* Flügelband binnen kurzem in Spannung geraten und die weitere Bewegung hemmen. Wenn sich wiederum nur das untere Gelenk nach derselben Seite bewegte und also der Atlas mitsamt dem Occiput (ohne eigene Verschiebung der Kondylen gegen den Atlas) nach rechts glitte, so würde das *linke* Flügelband im Gegenteil erschlaffen. Da nun aber beide Gelenke sich gleichzeitig bewegen, muss die Entspannung des betreffenden Flügelbandes durch die Bewegung im unteren Gelenke dem oberen Gelenke zu gute kommen und eine grössere Bewegung in demselben ermöglichen. In ganz derselben Weise muss auch die Bewegung im oberen Gelenke durch das dabei stattfindende Erschlaffen des *rechten* Flügelbandes die Bewegungsmöglichkeit im unteren Gelenke erweitern.

Bei meinen Versuchen an Leichenpräparaten habe ich diese Abhängigkeit der Bewegungen im einen Gelenke von den Bewegungen im anderen sehr oft nachweisen können. Wenn ich mit der Hand den Atlas (unter Freilassung der Axis) anfasste und ihn in seitlicher Richtung gegen die Kondylen bewegte, so trat öfter auch eine deutliche Verschiebung im Atlantoaxialgelenke nach derselben Seite ein, und wenn jede Seitenbewegung im letztgenannten Gelenke gehindert wurde, so wurde sogleich der Umfang der Bewegungen im Atlantooccipitalgelenke etwas geringer.

Durch diese Verbindung der beiden Kopfgelenke mit einander wird also der Totalumfang der Bewegungen in seitlicher Richtung entschieden grösser, als wenn die beiden Gelenke ganz unabhängig von einander wären. Dass diese Vergrösserung der seitlichen Kopfbewegungen beim Menschen in praktischer Hinsicht eine Rolle spielt, glaube ich kaum; bei vielen Vierfüsslern, welche eine grosse Beweglichkeit des Kopfes nach den Seiten nötig haben, dürfte aber diese Einrichtung nicht belanglos sein.

Auch noch in einer andern Hinsicht könnte man vielleicht berechtigt sein, den beschriebenen Mechanismus der Kopfgelenke als eine zweckmässige Einrichtung zu bezeichnen. Durch die Verlegung der wirklichen Achse für die Seitenbewegungen des Kopfes in die Spitze des Zahnfortsatzes, d. h. etwa in die Höhe des Foramen magnum, wird offenbar das verlängerte Mark nicht so starken Verschiebungen und Zerrungen ausgesetzt, als wenn die Lageveränderungen des Kopfes im Verhältnis zur Wirbelsäule um die etwa 4 cm höher gelegene Krümmungs- und Bewegungsachse des Atlantooccipitalgelenkes vorsichgehen würden.

In diesem Zusammenhange möchte ich schliesslich noch darauf aufmerksam machen, dass durch die besprochenen Seitenbewegungen des Atlas, das häufige Vorhandensein eines Schleimbeutels zwischen dem Querbande und der Deckmembran (GRUBER[3]) oder sonst die Auflockerung des Bindegewebes an dieser Stelle vom funktionellen Gesichtspunkte aus leicht erklärlich erscheint. Während das Querband den Bewegungen des Atlas folgen muss, bleibt die Deckmembran relativ still, da ihr Ansatz an der Pars basilaris ziemlich nahe der Bewegungsachse liegt. Die hieraus resultierenden Verschiebungen zwischen den beiden Bändern, welche sich übrigens an einem geeigneten Gelenkpräparate leicht demonstrieren lassen, setzen offenbar eine hinreichend lockere Verbindung der letzteren voraus.

3. Die Drehbewegungen.

Im oberen Kopfgelenke, wo der Halbmesser der frontalen Krümmung gewöhnlich 3—4mal grösser ist als der der sagittalen (vgl. Tab. I) muss schon aus diesem Grunde eine Drehung um die vertikale Achse vollständig ausgeschlossen sein. Wenn man von dem Federn des Gelenks absieht, das übrigens wegen des relativ dünnen Knorpelüberzuges der Gelenkflächen sehr mässig ist, so muss jeder Versuch, das Gelenk um diese Achse zu bewegen, sofort ein Aufheben des Kontaktes zwischen den Gelenkflächen fast in ihrer ganzen Ausdehnung zur Folge haben. Das letztere kann aber bei aktiven Bewegungen im Leben schon deshalb nicht vorkommen, weil sämtliche auf dieses Gelenk wirkenden Muskeln

wegen ihrer ziemlich vertikalen Zugrichtung die Gelenkköpfe fester in die Pfannen einzudrücken streben.[1]

Die Angabe gewisser Autoren, dass im Atlantooccipitalgelenke auch kleine Rotationsbewegungen vorkommen, scheint mir kaum anders erklärt werden zu können, als dass sie entweder auf die oben besprochene rotatorische Komponente der Seitenneigungen um die schräge HENKE'sche Achse oder auch auf die atypischen Wackelbewegungen, welche ein präpariertes Gelenk oft nach allen Richtungen hin erlaubt, hinzielen. Die erstgenannte ist aber nur eine Teilerscheinung einer gewissen typischen Bewegung und die letzteren haben mit den physiologischen Bewegungen im Leben nichts zu tun. Um den Verhältnissen beim Lebenden möglichst nahe zu kommen, sind die auf S. 16 angeführten Vorsichtsmassregeln absolut notwendig. Meine unter diesen Kautelen ausgeführten Leichenversuche haben auch konstant ergeben, dass im oberen Kopfgelenke normalerweise keine messbaren Drehungen um die vertikale Achse vorkommen.

Um so viel besser ist das Atlantoccipitalgelenk für rotatorische Bewegungen geeignet. Diese werden weder durch die Einfassung des Zahnes in dem fibroossösen Ringe noch durch die Krümmungsverhältnisse der Gelenkflächen in wesentlichem Grade gehindert. Die Abweichungen der letzteren von dem Typus eines Rotationskörpers mit vertikaler Achse (ev. einer Kugel) sind nicht derart, dass sie auf den Umfang der Drehbewegungen einwirken; überhaupt träte eine Hemmung von Seiten der Knochen nie ein, würde auch die Drehung noch so weit über ihre normalen Grenzen hinaus fortgesetzt. Dagegen müssen die betreffenden Unregelmässigkeiten in der Gestaltung der Flächen auf die *Art* der Bewegung entschieden Einfluss haben.

Meine oben referierten Untersuchungen über die Krümmungsverhältnisse der betreffenden Gelenkflächen ergaben, dass wirklich schraubenförmige Flächen im Sinne HENKE's jedenfalls sehr selten vorkommen, und so ist auch sicherlich keine regelmässige Schraubenbewegung mit gleichförmigem Fortschreiten des sich bewegenden Körpers längs der Drehachse zu erwarten. Damit will ich jedoch keineswegs bestreiten, dass der Atlas bei den Seitendrehungen von der Mittelstellung aus nach abwärts sinkt und bei der Rückdrehung wieder aufsteigt. Dies lässt sich an den meisten Gelenkpräparaten sehr deutlich demonstrieren und gegen die übliche Darstellung des Bewegungsverlaufes habe ich eigentlich nichts einzuwenden. Ich möchte hier nur bemerken, dass meiner Erfahrung nach diese Fortbewegung des Atlas längs der Achse in vielen Fällen nicht auf die ganze Seitendrehung gleichmässig verteilt ist, sondern hauptsächlich den letzten Phasen derselben angehört. Von der Mittelstellung aus gerechnet scheint es sich zuerst um eine annähernd reine Drehung zu handeln, und erst wenn die Bewegung sich ihrem Ende naht, kommt die Senkung des Atlas hinzu. — Mit der Kongruenz der in den Endstellungen einander gegenüberliegenden Teile der Gelenkflächen steht es auch oft ziemlich schlecht. — Bei der grossen Variabilität in der Form der Gelenkkörper, müssen auch die

[1] Eine Ausnahme machen vielleicht die Mm. obliqui superiores bei sehr flachen Pfannen und starker Streckung des oberen Kopfgelenkes; sicherlich wird jedoch die Schwere des Kopfes und der Tonus der übrigen mehr longitudinal verlaufenden Muskeln hinreichend sein, um ein Heraufgleiten der Kondylen aus den Pfannen zu verhindern.

Bewegungen bei den einzelnen Individuen stark wechseln und jeder Versuch, dieselben unter ein gemeinsames Schema zu bringen, stösst auf grosse Schwierigkeiten.

Betreffs des Umfanges der Drehbewegungen im Atlantoaxialgelenke von Seite zur Seite ergaben meine Leichenversuche eine mittlere Winkelgrösse von 45,2°, mit Schwankungen von 30° bis 64°. Die Durchschnittszahl ist auch hier wesentlich kleiner als die Angaben anderer Autoren (60°—80°—90°). Da Leichenversuche über den Umfang solcher Bewegungen, deren Hemmung ausschliesslich durch die Spannung der Weichteile erfolgt, immer weniger zuverlässig sind, und da ferner meine Versuche gerade über diesen Punkt der wünschenswerten Kontrolle durch Röntgenuntersuchungen an Lebenden entbehren, wage ich ihnen keine volle Beweiskraft den anderen Angaben gegenüber zuzumessen. Dass die letzten der angeführten Zahlen (80°—90°, LANGER[10]) jedenfalls als Durchschnittszahlen viel zu gross sind, kann jedoch kaum bezweifelt werden.

Bekanntlich sind die Rotationsbewegungen im unteren Kopfgelenke zufolge der Anordnung des Bandapparates mit gewissen Nickbewegungen im oberen Gelenke zwangsmässig verbunden. Auf eine Erörterung dieses Mechanismus werde ich mich hier nicht einlassen, da ich den diesbezüglichen Darstellungen HENKE's und FICK's nichts neues hinzuzufügen habe. Ich begnüge mich hier auf den wesentlichen Unterschied zwischen dieser Bewegungskombination und den oben besprochenen kombinierten Seitenneigungen in den beiden Gelenken aufmerksam zu machen. Trotzdem es sich in beiden Fällen wohl hauptsächlich um die Folgen der Spannung des einen Flügelbandes handelt, ist das Resultat im ersten Falle, dass die beabsichtigte Bewegung (die Drehung) mit einer ihrem Zwecke scheinbar ganz fremde Bewegung (Kopfstreckung) verbunden wird, während bei den Seitenneigungen die Exkursionen in den beiden Gelenken von ganz derselben Art sind und demselben Zwecke dienen. Dazu kommt noch, dass die seitliche Bewegung im einen Gelenke sich nicht einfach zu der im andern summiert, sondern auch die Bewegungsmöglichkeit in diesem direkt erweitert.

Als *Hauptergebnis* meiner Messungen und Versuche an Leichenpräparaten und meiner Röntgenuntersuchungen an Lebenden betrachte ich den Nachweis, dass *das Atlantoaxialgelenk normalerweise sowohl an den Nickbewegungen als an den Seitenneigungen des Kopfes teilnimmt.* Besonders die letzteren Bewegungen in dem betreffenden Gelenke sind beim Menschen relativ klein, da sie aber mit den entsprechenden Bewegungen im oberen Kopfgelenke zwangsmässig verkuppelt sind und zusammen mit diesen einen sehr charakteristischen zweckmässigen Mechanismus bilden, welcher auch den meisten Säugetieren eigen ist, verdienen sie unsere volle Beachtung.

Die *sagittalen Bewegungen im Atlantoaxialgelenke* vollziehen sich um eine quere Achse, die durch den Zahnfortsatz zwischen seinem vorderen und hinteren Gelenke verläuft, und sind als Mischbewegungen aus Schleifen und Rollen zu betrachten, welche hauptsächlich durch die Inkongruenz der Gelenkflächen möglich werden (vgl. Fig. 7, S. 21).

Die *seitlichen Bewegungen* in demselben Gelenke verlaufen um eine sagittale etwa an der Grenze des 3. und 4. Halswirbels liegende Achse und sind von den gegenseitigen Grössenverhältnissen des Axis-zahnes und des Zwischenraumes zwischen den Atlasseitenmassen abhängig. Durch die Anordnung der Flügelbänder sind sie mit den gleichseitigen Bewegungen im oberen Kopfgelenke verbunden, und zwar auf solche Weise, dass eine Bewegung in dem einen Gelenke die Bewegungsmöglichkeit im anderen vergrössert. Die wirkliche Achse für die Seitenneigungen des Kopfes in beiden Gelenken zusammen verläuft annähernd durch die Insertion der Flügelbänder am Zahnfortsatze, und der Atlas verhält sich etwa wie ein Meniskus, der nach der Seite gleitet, wohin die Beugung geschieht (vgl. Fig. 8. S. 30).

Meine Versuche an zehn Leichenpräparaten ergaben, dass im Durchschnitt die sagittale Beweglichkeit im oberen Gelenke 18,9° im unteren 11,2°, und die seitliche Beweglichkeit im obern Gelenke 7,05°, im untern 3,8° betrugen. In Einzelfällen war doch die Exkursionsweite im untern Gelenk gleichgross oder sogar grösser als im obern. Wegen des relativ kleinen Materials und der starken individuellen Schwankungen können diese Zahlen zwar nicht mit Sicherheit als allgemeingültige Durchschnittswerte betrachtet werden; doch stehen sie der Hauptsache nach in guter Übereinstimmung mit meinen Röntgenbefunden an Lebenden (vgl. Taf. II und III).

Betreffend der Details muss ich auf den Text und die Tabellen verweisen.

Tab. I. **Krümmungshalbmesser der Gelenkflächen in den Kopfgelenken von zehn Individuen.**
(Die in Klammern stehenden Zahlen liessen sich wegen unregelmässiger Krümmung nur approximativ bestimmen.)

	I	II[1]	III[1,2]	IV	V[2,3]	VI	VII[1,2]	VIII[4]	IX[2]	X	Max.	Min.	Mittel	
A. Atlantooccipitalgelenk.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
1. *Kondylen.*														
Gemeinsame frontale Krümmung	43	(38)	(39)	40	37	32	(36)	34	42	50	50	32	39,1	
Sagittale Krümmung . . rechts	(11)	(11)	(10)	(14)	14	(9)	12	(11)	16	(12)	16	9	12,	11,7
Sagittale Krümmung . . links	(11)	(11)	10	(11)	16	(11)	10	(10)	14	(10)	16	10	11,4	
2. *Atlaspfannen.*														
Gemeinsame frontale Krümmung	43	(38)	(39)	41	39	33	(37)	36	42	51	51	33	39,9	
Sagittale Krümmung . . rechts	(11)	(11)	(10)	(14)	16	(9)	12	(12)	15	(12)	16	9	12,2	12,0
Sagittale Krümmung . . links	(11)	(12)	10	(12)	19	(10)	10	(10)	14	(10)	19	10	11,8	
B. Atlantoaxialgelenk.														
1. *Axisflächen.*														
Gemeinsame frontale Krümmung	34	43	43	30	(40)	32	42	(40)	35	43	43	30	38,2	
Sagittale Krümmung . . rechts	25	31	15	19	30	25	15	15	17	20	31	15	21,2	21,3
Sagittale Krümmung . . links	—	30	16	19	30	30	16	17	15	20	30	15	21,4	
2. *Atlasflächen.*														
Gemeinsame frontale Krümmung	35	43	43	30	(40)	33	42	(42)	36	43	43	30	38,7	
Sagittale Krümmung . . rechts	∞	∞	—	∞	∞	∞	—	—	∞	∞	∞	—		
Sagittale Krümmung . . links	∞	+	+30	+	∞	∞	+30	+32	∞	∞	∞	+30		

[1] Assymetrie der Kondylen und Atlaspfannen.
[2] Sagittale Krümmung der Atl.-occ.-Gelenke ziemlich regelmässig.
[3] Frontales Profil der Atl.-ax.-Gelenke beinahe geradlinig.
[4] Frontales Profil der Atl.-ax.-Gelenke unregelmässig.

Tab. II. **Totalumfang der Bewegungen in den Kopfgelenken,**
an zehn Leichenpräparaten gemessen.

	Nickbewegungen			Seitenneigungen			Drehung
	im oberen Gelenk	im unteren Gelenk	in beiden Gelenken	im oberen Gelenk	im unteren Gelenk	in beiden Gelenken	(im unteren Gelenk)
I	21°	7½°	28½°	7°	2½°	9½°	42°
II	17°	14½°	31½°	7°	2°	9°	62°
III	18°	10°	28°	7½°	3½°	11°	38°
IV	13½°	13½°	27°	8°	9½°	17½°	42°
V	14°	12°	26°	7°	2½°	9½°	41°
VI	19°	22°	41°	8°	4°	12°	64°
VII	26°	6°	32°	6°	4°	10°	30°
VIII	22°	10°	32°	7°	6°	13°	48°
IX	18½°	11½°	30°	6°	2°	8°	44°
X	20°	5°	25°	7°	2°	9°	41°
Mittel	18,9°	11,2°	30,1°	7,05°	3,8°	10,85°	45,2°

Tab. III. **Totalumfang der sagittalen und seitlichen Bewegungen in den Kopfgelenken**
nach Röntgenuntersuchungen an vier Lebenden.

	Nickbewegungen			Seitenneigungen		
	im oberen Gelenk	im unteren Gelenk	in beiden Gelenken	im oberen Gelenk	im unteren Gelenk	in beiden Gelenken
I. ♂ 18 J.	4½°	20½°	25°	(1°)	(0°)	(1°)
II. ♂ 49 J.	5°	3°	8°	?	?	?
III. ♂ 28 J.	9°	4°	13°	5°	2°	7°
IV a). ♂ 21 J.	4½°	7½°	12°	9°	4°	13°
b). Derselbe . . .	17°	8°	25°	8½°	3°	11½°

Litteratur.

1. Fick, R. Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. I—III. Jena, 1904—1911.
2. Gerlach, L. Ueber die Bewegungen in den Atlasgelenken etc. Gerlachs Beiträge zur Morphologie und Morphogenie I. 1883.
3. Gruber, W. Ueber den gesammten Apparat der Bänder zwischen dem Hinterhauptsbeine und den obersten Halswirbeln. Müllers Archiv für Anatomie. 1851.
4. Henke, W. Die Bewegungen zwischen Atlas und Epistropheus. Zeitschrift für rationelle Medizin III, 2. 1858.
5. ——. Die Bewegungen des Kopfes in den Gelenken der Halswirbelsäule. Zeitschrift für rationelle Medizin III, 7. 1859.
6. ——. Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke 1863.

6 a. ——. Topographische Anatomie des Menschen 1884.

7. Henle, J. Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen. 1855.
8. Hyrtl, J. Handbuch der topographischen Anatomie 1882.
9. Krause, W. Handbuch der menschlichen Anatomie 1879.
10. Langer, C. Lehrbuch der systematischen und topographischen Anatomie 1882.
11. Meyer, H. Lehrbuch der physiologischen Anatomie 1877.
12. Sappey. Traité d'anatomie descriptive 1876.
13. Strecker, C. Ueber die Condylen des Hinterhauptes. Archiv für Anatomie und Physiologie. Anat. Abt. 1887.
14. Tillaux, P. Traité d'anatomie topographique 1877.
15. Virchow, H. Über die sagittalflexorischen Bewegungen im Atlas-Epistrophensgelenk des Menschen. Archiv für Anatomie und Physiologie, Anat. Abt. 1909.
16. ——. Die sagittale Flexion am Hinterhauptsgelenke von Säugetieren. Sitzungsberichte der Berliner Gesellschaft naturforschender Freunde 1909.
17. Weigner, K. Über die Assimilation des Atlas etc. Anatomische Hefte XLV. 1911.
18. Werner, H. Die Dicke der menschlichen Gelenkknorpel. Diss. Berlin 1897.

Tafelerklärung.

Tafel I.

Röntgenaufnahmen durch die Kopfgelenke eines 21jährigen Mannes von der Seite bei aktiver Streckung und Beugung des Kopfes.

(Platte an der rechten Kopfseite; Röhrenabstand etwa 70 cm.; Verstärkungsschirm.)

Fig. 1. Bei voller Streckung.
Fig. 2. Bei voller Beugung.

Tafel II.

Röntgenaufnahmen durch die Kopfgelenke desselben Individuums von vorne durch den offenen Mund bei aktiven Seitenneigungen des Kopfes.

(Platte dorsal; Röhrenabstand etwa 70 cm.; Verstärkungsschirm.)

Fig. 1. Bei voller Neigung nach links.
Fig. 2. Bei voller Neigung nach rechts.

Tryckt den 12 oktober 1912.

Uppsala 1912. Almqvist & Wiksells Boktryckeri-A.-B.

1

2.

Cederquists Graf. A.-B., Stnlm.

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND

R L

1

R L

2

Cederquists Graf. A.-B., Sthlm.

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND
LIBRARY

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND
LIBRARY

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND
LIBRARY